This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

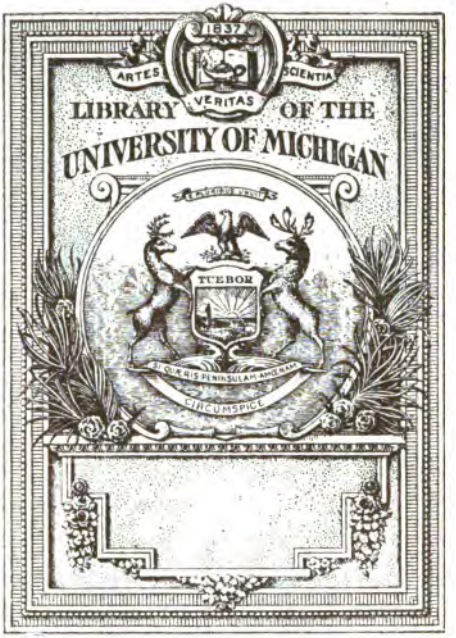
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.



THE GIFT OF
PROF. ALEXANDER ZIWET

D-STOTZ

TK
146
.E93

Wissenschaft und Bildung

Einzeldarstellungen aus allen Gebieten des Wissens

Geheftet 1 Mark

Herausgegeben von Privatdozent Dr. Paul Herre
Monatlich 1 bis 2 Bändchen von je 130—160 Seiten

Orig.-Lbd. 1.25 Mark

Die Sammlung bringt aus der Feder unserer berufensten Gelehrten in anregender Darstellung und systematischer Vollständigkeit die Ergebnisse wissenschaftlicher Forschung aus allen Wissensgebieten.

Sie will den Leser schnell und mühelos, ohne Fachkenntnisse vorauszusetzen, in das Verständnis aktueller wissenschaftlicher Fragen einführen, ihn in ständiger Fühlung mit den Fortschritten der Wissenschaft halten und ihm so ermöglichen, seinen Bildungskreis zu erweitern, vorhandene Kenntnisse zu vertiefen, sowie neue Anregungen für die berufliche Tätigkeit zu gewinnen.

Die Sammlung „Wissenschaft und Bildung" will nicht nur dem Laien eine belehrende und unterhaltende Lektüre, dem Fachmann eine bequeme Zusammenfassung, sondern auch dem Gelehrten ein geeignetes Orientierungsmittel sein, der gern zu einer gemeinverständlichen Darstellung greift, um sich in Kürze über ein seiner Forschung ferner liegendes Gebiet zu unterrichten.

Ein planmäßiger Ausbau der Sammlung wird durch den Herausgeber gewährleistet. Abbildungen werden den in sich abgeschlossenen und einzeln käuflichen Bändchen nach Bedarf in sorgfältiger Auswahl beigegeben.

Bisher erschienen bezw. im Drucke befinden sich:

Unser Deutsch. Einführung in die Muttersprache. Von Geh. Rat Prof. Dr. Kluge in Freiburg i. B. 8°. IV u. 147 S.

„... Professor Kluge in Freiburg, ein hervorragender Forscher auf dem Gebiete der deutschen Sprachwissenschaft, gibt uns in zehn Essays einen Überblick über die gesamte Entwickelung unserer Sprache und verwertet dabei die Ergebnisse seiner bahnbrechenden Forschungen über die deutschen Standes- und Berufssprachen."

Bad. Schulzeitung, 1907, Nr. 2.

Der Sagenkreis der Nibelunge. Von Prof. Dr. G. Holz in Leipzig. 8°. IV u. 126 S.

Entstehung, Weiterbildung der Sage, ihre Quellen und ihr geschichtlich-mythischer Ursprung werden untersucht u. ihr Weiterwirken bis in die moderne Literatur verfolgt.

Volksleben im Lande der Bibel. Von Prof. Dr. Löhr in Breslau. 8°. IV u. 134 S. mit zahlreichen Abbildungen.

Verfasser fährt uns durch Palästinas heilige Stätten, zeigt uns Land und Leute in ihrer charakteristischen Eigenart und hinterläßt uns so, durch zahlreiche Originalphotographien unterstützt, eine klare Vorstellung von der Eigenart und Bedeutung dieses Landes.

Die Poesie des alten Testaments. Von Prof. Dr. E. König in Bonn. 8°. ca. 140 S.

Unter besonderer Berücksichtigung der vergleichenden Methode und unter Heranziehung der arabischen und babylonischen Literatur wird hier die althebräische Dichtung nach Form und Inhalt eingehend untersucht und psychologisch-ästhetisch analysiert.

Das davidische Zeitalter. Von Prof. Dr. B. Baentsch in Jena. 8°. IV u. 160 S.

David tritt uns entgegen als Regent, Kriegsmann, Politiker und Mensch in seiner weit über das davidische Zeitalter hinaus wirkenden Bedeutung. Die ganze Periode wird in die großen, geschichtlichen Zusammenhänge des alten Orients hineingestellt.

Christus. Von Prof. Dr. O. Holtzmann in Gießen. 8°. IV u. 147 S.

Jesu Heimat und Volk, sein Leben und sein Evangelium werden behandelt, die Quellen auf ihre Glaubwürdigkeit geprüft, die Glaubenstatsachen besprochen, und die Glaubensurteile der verschiedenen Zeiten dargestellt.

Mohammed und die Seinen. Von Prof. Dr. H. Reckendorf in Freiburg i. B. 8°. IV u. 134 S.

In großen Zügen zieht Mohammeds Leben an uns vorüber und zeigt uns sein Wirken als Religionsstifter, Heerführer und Staatsmann.

Politik. Von Prof. Dr. F. Stier-Somlo in Bonn. 8°. VI u. 166 S.

Eine für jede politische Bildung unentbehrliche Staatslehre: Wesen und Zweck, Rechtfertigung und typischer Wandlungsprozeß des Staates, seine natürlichen und sittlichen Grundlagen usw. werden geprüft und gewertet. Monarchie und Volksvertretung, Parteiwesen und Imperialismus, kurz alle unsere Zeit bewegenden politischen Ideen kommen zur Sprache.

Eiszeit und Urgeschichte des Menschen. Von Prof. Dr. J. Pohlig in Bonn. 8°. IV u. 142 S. mit zahlr. Abbildungen.

Gibt auf Grund der neuesten, streng wissenschaftlichen Forschungen ein Bild von den landschaftlichen Wirkungen des Eises, der Bildung der Flußtäler und Höhlen, dem Leben des Urmenschen, seiner tierischen und pflanzlichen Begleiter.

Schmarotzertum im Tierreich und seine Bedeutung für die Artbildung. Von Hofrat Prof. Dr. L. v. Graff in Graz. 8°. IV u. 132 S. mit zahlreichen Abbildungen.

Zum ersten Male wird hier von einem unserer ersten Zoologen die wichtige Rolle eingehend dargestellt, die dem Parasitismus für die Entstehung der Arten zukommt. Sorgfältig ausgewählte, reich illustrierte Beispiele geben die Grundlagen für die allgemeinen Erörterungen unter besonderer Berücksichtigung der Parasiten des Menschen.

Die Bakterien und ihre Bedeutung im praktischen Leben. Von Privatdozent Dr. H. Miehe in Leipzig. 8°. ca. 140 S. mit zahlreichen Abbildungen.

Ihre Formen, Lebens- und Ernährungsweise werden eingehend behandelt und in ihrer Bedeutung für den Menschen betrachtet, sowohl als Helfer in der Natur und in der Industrie, wie als Feinde durch Verderben der Nahrungsmittel, Krankheitserreger usw. Ein Schlußkapitel zeigt die Mittel ihrer Bekämpfung.

Befruchtung und Vererbung im Pflanzenreich. Von Professor Dr. K. Giesenhagen in München. 8°. IV u. 132 S. mit zahlreichen Abbildungen.

Die einzelnen Abschnitte behandeln die Erhaltung der Art durch ungeschlechtliche Fortpflanzung; die Ausgestaltung der geschlechtlichen Fortpflanzung bei den blütenlosen Pflanzen; die Befruchtung der Blütenpflanzen; Selbstbefruchtung, Geschlechtsverlust und Jungfernzeugung im Pflanzenreich; die wichtigsten Vererbungsgesetze und ihre Erklärung.

Die Elektrizität als Licht- und Kraftquelle. Von Privatdozent Dr. P. Eversheim in Bonn. 8°. ca. 144 S. m. zahlr. Abbild.

Die wichtigsten elektrischen Vorgänge werden erläutert und begründet und jene Fragen beantwortet, die sich beim Anblick der tausenderlei „elektrischen Dinge" stellen, denen wir fast täglich begegnen.

3130 Alexander Ziwet 6.9

Wissenschaft und Bildung
Einzeldarstellungen aus allen Gebieten des Wissens
Herausgegeben von Privatdozent Dr. Paul Herre
13

Die Elektrizität
als Licht- und Kraftquelle

Von
Dr. Paul Eversheim, 1873—
Privatdozent in Bonn

1907
Verlag von Quelle & Meyer in Leipzig

Prof. Alex. Zinet
gt.
1-15-1923

Alle Rechte vorbehalten.

Vorwort.

Die rege Tätigkeit der Forscher, man kann wohl sagen in allen Teilen der Erde, hat so mancherlei zu Tage gefördert, was nicht nur der Wissenschaft allein zu gute kommt, sondern auch geeignet ist, weite Kreise mit Interesse zu erfüllen. Daß ein solches Interesse vorhanden ist und das Bedürfnis immer mehr fühlbar wird, einen allgemeinen Einblick in die verschiedenen Gebiete des Wissens zu gewinnen, sehen wir in dem erfolgreichen Unternehmen der Volkshochschulkurse.

Im Anschluß an eine derartige Vorlesung hat sich der Verfasser entschlossen, den Inhalt eines Kollegs aus dem Gebiete der Elektrizität im vorliegenden Werkchen wiederzugeben. Dem Zweck entsprechend, handelt es sich hier nicht darum, die Einzelheiten erschöpfend zu behandeln; gleichwohl aber sollen die elektrischen Vorgänge mit Hilfe einfacher Sätze erläutert und begründet werden, wobei uns, soweit dies dem Allgemeinverständnis keinen Abbruch tut, wissenschaftliche Betrachtungen unterstützen sollen. Es sollen ferner jene Fragen Beantwortung finden, die sich uns unwillkürlich stellen beim Anblick der tausenderlei „elektrischen Dinge", die wir fast täglich erblicken, sowie es auch angestrebt ist, den Nichtfachmann mit solchen elektrischen Einrichtungen bekannt zu machen, die sich in seiner unmittelbaren Umgebung befinden, um ihm die Ausführung jener kleinen Verrichtungen zu erleichtern, die zuweilen eine elektrische Anlage von ihm fordert.

Und so hoffe ich, daß das Werkchen dazu beitragen möge, das Verständnis für jene wunderbare Naturkraft ebenso zu fördern, wie das Interesse bereits in so hohem Maße vorhanden ist.

Bonn, März 1907.

Der Verfasser.

415119

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung . . . . . VII–VIII

1. Kapitel. Das Wesen des elektrischen Stromes, sein Zustandekommen und seine Wirkungen. Praktische Anwendungen . . . . . 1—22

Reibungselektrizität. Galvanische Elektrizität. Galvanisches Element. Der elektrische Strom. Stromstärke, Spannung, Widerstand. Ohmsches Gesetz. Joulesches Gesetz. Thermoelement. Die Elektrolyse. Faradaysches Gesetz. Die Einheitsmaße: Amper, Ohm, Volt. Der Akkumulator; seine Wirkungsweise und seine Behandlung. Galvanoplastik. Galvanostegie. Aluminiumdarstellung.

2. Kapitel. Wechselbeziehung zwischen elektrischem Strom und Magnetismus; die Induktionserscheinungen . . . . . 23—28

Entstehung des Elektromagnetismus. Eigenschaften eines Magneten. Kraftfeld, Kraftlinien. Magnetregeln. Lenzsches Gesetz. Induktionsströme. Gleichstrom und Wechselstrom.

3. Kapitel. Anwendung der Induktionsvorgänge. Der Induktionsapparat. Die Dynamomaschine . 29—45

Ruhmkorffscher Apparat. Primärstrom, Sekundärstrom. Extrastrom. Intermittierender Strom. Geißlersche Röhren. Kathodenstrahlen. Röntgenstrahlen. - Prinzip der Dynamomaschine. Praktische Ausführung. Kommutator. Grammescher Ring. Nutenanker. Trommelanker. Schuckertscher Flachring. Mehrpolige Maschinen. Dynamoprinzip. Magnetelektrische und dynamoelektrische Maschine. Hauptschluß, Nebenschluß, Compoundmaschine. Regulierorrichtungen.

4. Kapitel. Anwendung des elektrischen Stromes zur Kraftübertragung; der Elektromotor . . . . 46—53

Die ersten Motoren. Verbesserungen. Vorteil der hohen Tourenzahl. Toter Punkt. Elektromotor in seiner heutigen Form. — Elektrische Eisenbahn, Einrichtung der Wagen. — Wechselstrommotor. Wirbelströme. Impedanz, Drosselspule. Drehstrom. Drehstrommotor.

Seite

5. Kapitel. Anwendung des elektrischen Stromes zu Leuchtzwecken . . . . . 54—71

Eigenschaften des Lichtes. Die Farben. Lichtbrechung. Spektrum. Sichtbare und unsichtbare Strahlen. Bedingungen für die Lichtstärke. Die Glühlampen. Nernstlampe, Osmium- und Osramlampe. Tantallampe. Kerzenstärke, Hefnerkerze. Kosten der elektr. Beleuchtung, Hektowattstunde. Vergleich verschiedener Leuchtkörper. Elektrisches Bogenlicht. Eigenschaften des Bogens. Reguliermechanismus. Differentiallampe. Liliputlampe. Kosten der Bogen- und Glühlampe.

6. Kapitel. Übertragung des elektrischen Stromes in die Ferne . . . . . 72—80

Bedingungen zur Fernleitung. Spannungsverlust. Hohe Spannung. Dreileitersystem, Plus-, Minus-, Null-Leiter. Leitungen für große Entfernungen. Transformatoren. Fernleitung: Frankfurt a. M.—Lauffen.

7. Kapitel. Einige Einzelheiten beim Betriebe. Die Sicherheitsvorkehrungen, die Kontrole und Regulierung des Stromes . . . . . 81—87

Blick in die Zentrale. Zweck der Schalttafel. Betrieb mit Akkumulatoren. Ihr Nutzen. Automatischer Ausschalter. Kurzschluß. Sicherungen. Elektrizitätszähler. Zellenschalter. Regulierung der Spannung.

8. Kapitel. Schwachstromtechnik, der elektrische Strom im Dienste des Telegraphen- und Telephonwesens . . . . . 88—108

Versuche von Gauß und Weber. Übermittlung von Zeichen durch den Schreiber. Taster, Erdleitung, Relais. Morseapparat. Typendruckapparat von Hughes. Kabeltelegraphie. Flaschenwirkung, Beseitigung der Störungen. Das Telephon, das Mikrophon. Vermittlungsämter, Linienwähler, Klappenschrank. — Die sprechende Bogenlampe.

9. Kapitel. Die elektrischen Wellen, Telegraphie ohne Draht . . . . . 109—119

Die Hertzschen Versuche. Oszillatorische Entladungen. Offene und geschlossene Strombahn, gedämpfte Schwingungen. System von Marconi und Braun. Antenne. Abstimmung der Telegraphie.

Einleitung.

Von den gewaltigen Naturkräften, welche die Erde birgt, die teils schlummernd oder der Außenwelt entzogen im Erdinnern vorhanden, teils in der Atmosphäre uns umgeben, ist wohl die Elektrizität die interessanteste und in ihrer Anwendung die nutzbringendste. Schon lange war sie dem Menschen bekannt, jene Kraft, die als zuckender Blitz aus den Wolken niederfuhr und alles mit Angst und Schrecken erfüllte. Und wer hätte sich wohl herangewagt, wer hätte es unternommen, den Ursprung dieser Kraft zu ergründen, sie zu zähmen, zu bändigen, um sie der Menschheit zu nutze zu machen. Ja, sie schien zu furchtbar, zu verherend in ihren Wirkungen, als daß man ihr nahe zu treten versuchte, ihr die Gesetze abgelauscht hätte, die sie regeln: man dachte nicht daran, sie zu meistern, man floh vor ihr.

Aber der Mensch mit seinem nie schlummerndem Drange nach Wissen, nach Licht und Wahrheit suchte ja von jeher die Vorgänge in der Natur zu ergründen und für die ihn umgebenden Naturwunder wenigstens eine Erklärung zu schaffen. So finden wir, wie beispielsweise von den alten Naturphilosophen immer wieder der Versuch gemacht wird, das Wesen der Natur, die Vorgänge derselben und die Kräfte, die dort walten, zu erklären, und wenn sich dabei auch die wunderbarsten Anschauungen und seltsamsten Schlüsse ergaben, so lag dies zum großen Teil daran, daß diese reiner Geistesarbeit entsprangen, das Experiment aber, die wichtigste Stütze für den Naturforscher, so gut wie gar nicht um Rat gefragt wurde.

Erst als man damit begann, die Vermutungen durch Experimente zu prüfen, als man die Vorgänge im Weltenraume im Laboratorium nachahmte, von den Wirkungen ausgehend nach der Ursache forschte, da erst kam Licht in das Dunkel der Natur, und was früher als willkürliches Walten unsichtbarer Geister angesehen wurde, das erkannte man allmählich als Vorgänge, die

sich bestimmten Gesetzen fügten, Gesetzen, die ewig unveränderlich sind und das ganze Weltall so wunderbar regeln.

Freilich konnte sich die Erkenntnis nicht plötzlich entwickeln; jahrelanges Studium, mühevolle Versuche waren erforderlich, um namentlich das Gebiet der Elektrizität zu erschließen, und erst als die wissenschaftliche Forschung die wichtigsten Grundlagen der Elektrizitätslehre klargelegt hatte, da erst konnte man auf Grund der gewonnenen Tatsachen das Experiment des Forschers ausarbeiten und weiter ausgestalten. Und nun begann eine Entwicklung auf dem Gebiete der Elektrizität — der Elektrotechnik — wie sie ihresgleichen in der Weltgeschichte noch nicht gehabt. In wenigen Jahrzehnten entwickelten sich die elektrischen Apparate zu ungeheueren Maschinen, die in ihren schwingenden Kupfermassen gewaltige Kräfte bergen, Kräfte um so unheimlicher, als man sie nicht sieht und in deren unmittelbaren Bereich zu gelangen den sofortigen Tod zur Folge haben kann. Aber jetzt flieht der Mensch nicht mehr vor jener Kraft; er ist es, der sie bändigt und bezähmt, der sie zwingt und wieder in Freiheit setzt, nicht um den Menschen zu vernichten, sondern um ihm ein Wohltäter zu sein, um ihm Licht und Wärme, Kraft und Unterhaltung zu spenden.

Wer vermöchte die tausend Dinge aufzuzählen, die mit der Elektrizität im Zusammenhang stehen und die wir täglich sehen oder benutzen! Wem drängt sich nicht die Überzeugung auf, daß sie wie keine andere Naturkraft dazu berufen sein wird, um der Menschheit dereinst fortzuhelfen, wenn die Hilfsmittel der Erde erschöpft sein werden. Ist sie doch heute schon fast für jedermann unentbehrlich geworden, sei es, um ihm in seinem Berufe die wertvollsten Dienste zu leisten, oder sei es auch nur, um ihm das Leben angenehm zu gestalten. Und so mag sich wohl der Wunsch hier oder dort regen, einen Einblick zu gewinnen, in diese wunderbare Technik, die Gesetze und Begriffe kennen zu lernen, die mit ihr verbunden sind, sich Klarheit zu verschaffen: diesen Wunsch befriedigen zu helfen, hat sich der Verfasser zur Aufgabe gemacht!

I. Kapitel.

Das Wesen des elektrischen Stromes, sein Zustandekommen und seine Wirkungen. Die Einheitsmaße. Praktische Anwendungen.

Was wir unter „Elektrizität" verstehen sollen, wissen wir nicht. Zwar ist dieser Gegenstand besonders in neuerer Zeit der Ausgangspunkt zahlreicher gelehrter Untersuchungen geworden, auf die wir uns hier auch nicht annähernd einlassen können. Das ist aber auch keineswegs nötig, für uns genügen die Tatsachen, und so wollen wir uns an dem, was wir sehen, was das Experiment uns lehrt, eine klare Vorstellung zu machen suchen, was denn das Wesen des elektrischen Stromes ist, und werden dabei erkennen, daß wir streng definierte klare Gesetze antreffen, die es uns ermöglichen, die elektrische Energie[1]) ebensogut zu messen, wie wir etwa eine Fläche oder einen Raum mit dem Metermaß ihrer Größe nach feststellen können.

Wie kann man sich Elektrizität verschaffen? Die Sache ist nicht sehr schwierig: mancher hat wohl schon beim Streicheln einer Katze ein knisterndes Geräusch vernommen, er hat durch die Reibung Elektrizität hervorgerufen, die sich durch das Überspringen kleiner elektrischer Fünkchen äußert. Das gleiche findet statt, wenn man mit einem Katzenpelze einen Hartgummistab bearbeitet, eine Bernsteinspitze reibt[2]) oder einen Glasstab durch einen Seidenlappen zieht, oder endlich, wie dies bei der Elektrisiermaschine geschieht, wenn man den Glasstab durch eine runde Glasscheibe ersetzt und diese dann mittels einer Kurbel an dem sogenannten Reibzeug, das die Stelle des Seidentuches vertritt, vorbeischleift.

---

[1]) Unter elektrischer Energie verstehen wir die Arbeit, welche die Elektrizität zu leisten vermag.

[2]) Diese Art der Erzeugung von Elektrizität war schon den Alten bekannt. Aus dem griechischen Wort „Elektron" = Bernstein stammt der Name Elektrizität.

Man kann auf diese Weise Elektrizität gewinnen und diese dann in geeigneten Apparaten, in sogen. Leydener Flaschen aufspeichern. Wir haben indessen hier eine Art von Elektrizität, die sich wesentlich von dem eigentlichen elektrischen Strom unterscheidet. Will man nämlich die aufgespeicherte Elektrizität durch einen Draht leiten, so findet in dem Momente, wo man sich mit den Drahtenden der Leydener Flasche nähert, ein plötzlicher Übergang der ganzen Elektrizität statt: ein knatternder Funke springt über, und damit ist der ganze Vorgang zu Ende, die Flasche ist entladen. Mit dieser Art der Elektrizität ist es unmöglich, eine elektrische Klingel zu bewegen, eine Glühlampe zu speisen oder einen Motor anzutreiben, sie hat daher für die Leucht- und Krafttechnik keine Bedeutung. Deshalb wollen wir uns auch mit der kurzen Andeutung begnügen und zu der Art von Elektrizität übergehen, die uns hier allein interessiert, zum elektrischen Strom. Wie kann man denn diesen erzeugen? Auch das ist ziemlich einfach, wie uns ein Experiment lehrt. Taucht man in ein Wasserglas, das mit salzhaltigem Wasser gefüllt ist, einen Zink- und einen Kupferstab so ein, daß sie sich nicht berühren, so läßt sich zeigen, daß beide Stäbe in diesem Zustande mit Elektrizität „geladen" sind, sich also ähnlich verhalten, wie ein geriebener Hartgummi oder Glasstab. Es befindet sich daher auf beiden Stäben eine gewisse Menge Elektrizität, die aber in diesem Falle nicht durch Reibung erzeugt wurde, sondern ihre Ursache in einer chemischen Wirkung hat. Es tritt nämlich durch das Eintauchen des Stabes ein eine chemisch wirksame, d. h. eine etwas angesäuerte oder mit einem Salz behandelte Flüssigkeit zwischen dieser und dem Metall eine gewisse Kraft, die sogenannte Scheidungskraft auf, welche die Ursache für die vorhin genannte Erscheinung ist. Es zeigt weiter der Versuch, daß je nach der Natur der Metalle und der Flüssigkeit, die Stärke der so entstandenen elektrischen Kraft verschieden ist, daß es Metalle gibt, die, eingetaucht in eine Flüssigkeit, weniger stark elektrisch erscheinen wie diese, und auch solche Metalle, die in derselben Flüssigkeit eine stärkere Ladung zeigen. Als Beispiel nehmen wir Kupfer und Zink, als Flüssigkeit verdünnte Schwefelsäure und bilden daraus ein sogenanntes elektrisches Element (Abb. 1). Das Kupfer zeigt hier die stärkere Ladung, die wir positiv nennen, was wir immer durch ein + Zeichen andeuten, während das Zink die schwächere, die negative Ladung zeigt, wobei wir

ein —Zeichen setzen. Die Flüssigkeit können wir dabei als ungeladen, als neutral ansehen. Nun besteht aber zwischen zwei entgegengesetzt, also positiv und negativ geladenen Körpern ein gewisser Spannungszustand, und immer da, wo ein solcher herrscht, sucht sich die Elektrizität auszugleichen: die Elektrizität hat das Bestreben, von dem höher geladenen Körper zum niedrig geladenen abzufließen und tut dies, sobald sie dazu Gelegenheit hat. Diese findet sich dann, wenn wir die beiden Stäbe unseres Elementes, die Pole, durch einen Draht miteinander verbinden, wir haben dann einen galvanischen Strom, sogenannt nach dem Professor Galvani, der im Jahre

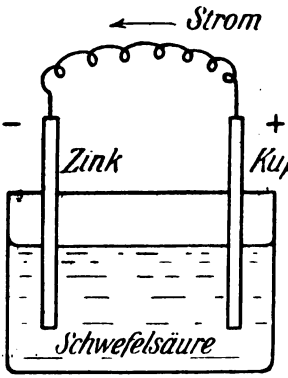


Abb. 1. Elektrisches Element.

1789 zu Bologna zum ersten Male, allerdings mit ganz anderen Mitteln einen solchen Strom erzeugte.

Entgegen der Elektrizität, die wir mit der Elektrisiermaschine erzeugen, haben wir hier ein wirkliches, ununterbrochenes Fließen des Stromes in dem Drahte, denn da ja die wirkende Kraft, die Scheidungskraft, immerfort zwischen den Stäben und der Flüssigkeit bestehen bleibt, so erneuert sich auch fortwährend durch die Ursache des Stromes, die elektromotorische Kraft, die Ladung, bis durch die chemischen Prozesse die Bestandteile des Elementes „verbraucht" sind.

Auf diesem Prinzip beruhen alle elektrischen Elemente, wie wir sie z. B. auch bei den elektrischen Hausklingeln usw. benutzen. Allerdings hat man eine Unmenge verschiedener Ausführungen, wobei immer das Bestreben maßgebend war, eine solche Zu-

sammensetzung von Leitern zu wählen, welche die größte Wirkung zeigt.

Wir wollen einige der gebräuchlichsten Elemente beschreiben. Die vorhin genannte Kombination aus Zink und Kupfer wird praktisch in folgender Form ausgeführt und nach seinem Konstrukteur Daniellelement genannt. In einem zylinderischen Glasgefäß, Abb. 2, befindet sich ein manchettenförmig gebogenes Kupferblech K, es bildet den positiven Pol des Elementes. Der negative Pol wird durch einen Zinkstab gebildet von +förmigen Querschnitt. Als Flüssigkeit dient aber hier nicht,

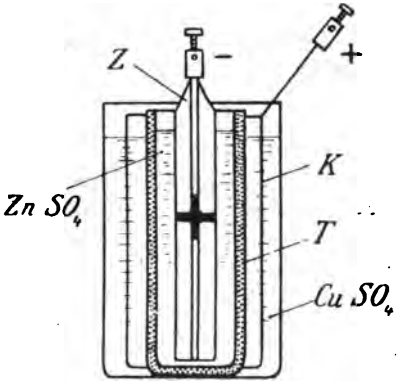


Abb. 2. Daniellelement.

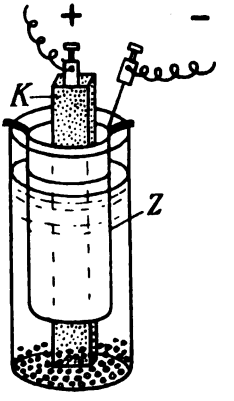


Abb. 3. Braunsteinelement.

wie in unserem früheren Beispiele Schwefelsäure; es hat vielmehr jedes Metall seine besondere Lösung, weil dadurch, und durch passende Wahl derselben das Element ganz besonders gut geeignet ist, Strom von möglichst anhaltender Stärke abzugeben. Das Kupfer befindet sich in einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol[1]) in Wasser, das Zink aber wird in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht oder aber in eine Lösung von Zinksulfat[2]). Damit nun keine Vermischung eintritt, trennt man beide Flüssigkeiten durch den porösen Tonzylinder T, der den Stromdurchgang nicht hindert. Derartige Elemente fordern gute Behandlung und häufige Reinigung, sie werden deshalb technisch

[1]) Chemische Formel: $Cu\,SO_4$.
[2]) Chemische Formel: $Zn\,SO_4$.

nicht gebraucht, eignen sich aber wegen der gleichbleibenden elektromotorischen Kraft sehr gut zu Versuchen und wissenschaftlichen Arbeiten.

Für praktische Zwecke wohl am verbreitetsten ist das Braunstein- oder Salmiakelement, Abb. 3. Der positive Pol ist gebildet aus einer Kohlenplatte, während der negative aus Zink besteht. Die Kohle ist mit ihrem unteren Ende in Braunstein (Mangansuperoxyd) eingebettet, als Flüssigkeit dient Salmiaklösung; die elektromotorische Kraft oder Spannung dieses Elementes beträgt etwa 1,4 Volt (siehe später).

Ein in der Telegraphie sehr viel benutztes Element ist das von Meidinger, welches sich besonders gut zu langandauernden Strömen eignet. Auch hier haben wir zwei besondere Flüssigkeiten und wieder als Metalle Zink und Kupfer. Das erstere taucht in Bittersalzlösung, das andere in eine Lösung von Kupfervitriol in Wasser. Wie hier das Vermischen der beiden Flüssigkeiten vermieden wird, zeigt Abb. 4. In der Erweiterung des Standgefäßes befindet sich der Zinkzylinder Z, bildet also den negativen Pol. Das Gefäß ist mit der Bittersalzlösung gefüllt. Auf dem Boden steht ein Becherglas b, welches den Kupferzylinder K einschließt. Aus dem Ballon B, der die Kupfersulfatkristalle und Wasser enthält, träufelt die gesättigte Lösung dieses Salzes langsam durch ein dünnes Glasröhrchen in das Becherglas, die Bittersalzlösung wird verdrängt, so daß sich das Kupferblech, dessen Zuleitung durch Guttapercha isoliert ist, im Kupfersulfatbade befindet. Die Spannung beträgt bei diesem Elemente nur 0,95 Volt.

Der innere Widerstand der besprochenen Elemente ist verhältnismäßig hoch, sie können deshalb keine starken Ströme liefern. Ersetzt man im Braunsteinelement die Salmiaklösung durch Schwefelsäure, so lassen sich kräftige Ströme entnehmen. Aber in der Form wäre ein solches Element nicht brauchbar. Gute Dienste leistet es in folgender Ausführung. Man nimmt eine gesättigte Lösung von doppeltchromsaurem Kalium und setzt etwas Schwefelsäure zu. In die Substanz bringt man dann als positiven und negativen Pol Kohle und Zink. Das letztere wird indessen stark angegriffen, und man senkt es nur dann ein, wenn Strom zu entnehmen ist. Um dieses bequem bewerkstelligen zu können, sind solche Elemente oder auch ganze Batterien mit einer Hebevorrichtung versehen, die das Eintauchen leicht auszuführen

gestattet, man spricht daher auch von Taucherbatterien. Eine sehr bequeme Form ist das nebenstehend abgebildete Flaschenelement (Abb. 5). Die positive Klemme ist an zwei Kohlenplatten befestigt, die oben durch ein Querstück miteinander verbunden sind. Zwischen den Kohlen befindet sich die Zinkplatte, welche mittels der Stange g gehoben oder gesenkt werden kann, die Führung der Stange ist mit der negativen Klemme verbunden.

Endlich seien noch die Trockenelemente erwähnt, die wegen ihrer bequemen Handhabung sehr beliebt geworden sind und

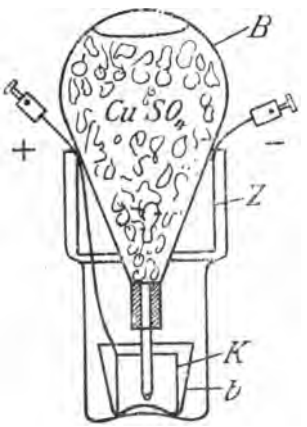


Abb. 4. Meidingerelement.

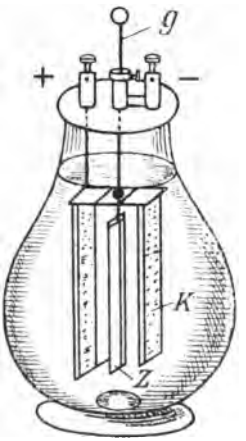


Abb. 5. Chromsäureelement.

namentlich als Taschenelemente in den Handel gebracht werden. Diese Elemente enthalten im wesentlichen dieselben Bestandteile, wie bei den nassen, nur daß die Flüssigkeit mit Stoffen angemengt wird, die ihr eine gewisse Steifigkeit verleihen und sie hindert, aus dem Gefäße hinauszufließen. —

Wir sahen, daß der elektrische Strom eines galvanischen Elementes vom positiven zum negativen Pol fließt, und wir können daher von einer bestimmten Richtung des Stromes sprechen. Jetzt aber treten eine Reihe von Fragen an uns heran. Wie stark ist der elektrische Strom? Wie verhält sich dieser zu dem Leiter, in dem er fließt, und welche Rolle spielt dabei die treibende oder elektromotorische Kraft? Alles Fragen, die wir mit Hilfe eines einfachen Beispiels leicht erklären können. Betrachten wir

einmal die Wirkungsweise einer Wasserleitung, so erkennen wir sofort, daß der Druck an irgend einer Stelle des Röhrennetzes offenbar abhängig ist von der Höhe des Reservoirs, daß er größer wird, mit zunehmender Höhe, dagegen abnimmt, wenn der Wasserspiegel des Reservoirs sich senkt. Diese Höhendifferenz, durch die ja das Fließen des Wassers in den Röhren bedingt ist, können wir direkt vergleichen mit dem Spannungsunterschied, den die beiden Stäbe unseres Elementes gegeneinander zeigen, mit der elektromotorischen Kraft. Ebenso wie dort die Höhendifferenz, bewirkt diese bei den elektrischen Vorgängen ein Fließen, und ebenso wie dort mit steigendem Druck das Wasser mit größerer Kraft durch die Röhren fließt, ebenso bewirkt hier die größere *Spannung*, wie allgemein kurz gesagt wird, das Zustandekommen eines stärkeren Stromes.

Wir können aber auch noch auf eine andere Weise die Ausflußmenge des Wassers beeinflussen, ohne den Druck zu ändern, indem wir einfach den Querschnitt der Rohre variieren, denn es ist ohne weiteres klar, daß wir mehr Wasser bekommen, bei weiten Röhren als bei engen, und ebenso leuchtet ein, wenn wir wieder die Verhältnisse auf die elektrischen Erscheinungen übertragen, daß der elektrische Strom in seiner Stärke beeinflußt wird, durch einen weiten oder engen Querschnitt des Drahtes, wenn wir, mit anderen Worten, dessen *Widerstand* ändern.

Die nähere Betrachtung führt uns nun ohne Schwierigkeit zu dem Schlusse: Die drei bei einer Wasseranlage in Betracht kommenden Größen, Druck, Wassermenge und Weite der Rohre stehen in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinander; wenn wir eine dieser Größen ändern, so folgt notwendig eine entprechende Änderung einer anderen, und nach dem, was wir vorhin besprochen haben, findet dieses Verhältnis seinen Ausdruck durch die Beziehung:

$$\text{Wassermenge}^{1}) = \frac{\text{Druck}}{\text{Widerstand der Rohrleitung.}}$$

Genau dieselbe Beziehung gilt auch für den elektrischen Strom, auch seine Stärke hängt ab von zwei Größen, vom Druck oder der Spannung, und vom Widerstand des Leiters, und in der Gleichung

[1]) D. h.: Dividiert man den Druck durch den Widerstand, so erhält man die Wassermenge.

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}}$$

ist für die drei in der Elektrotechnik so überaus wichtigen Größen ihre gegenseitige Abhängigkeit fest verzeichnet.

Der letzte Ausdruck repräsentiert das Fundamentalgesetz der ganzen Elektrotechnik, nämlich das Ohmsche Gesetz[1]). Die Kenntnis dieses Gesetzes ermöglicht in einfacher Weise die Lösung mancherlei Fragen, die in der Elektrotechnik eine wichtige Rolle spielen, und wir werden später öfter darauf zurückkommen.

Haben wir uns so klar gemacht, was wir unter Stromstärke, Spannung und Widerstand zu verstehen haben, so müssen wir nun noch die Frage beantworten, wie wir denn diese Größen messen können. Ein Maß für die Stromstärke erhalten wir, wenn wir die Wirkungen des Stromes beobachten. Diese Wirkungen können sehr verschieden sein. Wie wir später noch ausführlicher besprechen werden, ist der elektrische Strom z. B. imstande, Magnetismus hervorzurufen, der mit wachsender Stromstärke ebenfalls an Stärke gewinnt. Bringt man beispielsweise die eiserne Wagschale einer Wage in den Bereich eines so gebildeten Magneten, so wird die Schale durch die magnetischen Kräfte ebenso beeinflußt, wie durch Auflegen von Gewichten infolge der Erdkraft, der stärkere Strom gibt stärkere Kraft, Die Wage senkt sich in gleichem Maße und der Zeiger gibt uns direkt ein Maß für die Stromänderung. Wir haben hier das Prinzip der Stromzeiger oder Galvanometer, in der Technik auch Ampermeter genannt.

Eine andere Wirkung des elektrischen Stromes beruht in der Erwärmung der Leiter, in denen er fließt: die Wärmemenge steht in einem ganz bestimmten Verhältnis zur Stromstärke, eine Tatsache, die im Jouleschen Gesetz zum Ausdruck kommt, welches besagt, daß die Wärmemenge gleich gesetzt werden kann dem Widerstand des betreffenden Leiters multipliziert mit dem Quadrate der Stromstärke[2]). Die Kenntnis des Widerstandes des erhitzten Leiters, sowie der entwickelten Wärmemenge gibt uns also auch ein Maß für die Stromstärke.

[1]) Mathematisch würde man kurz zu schreiben haben:

$$J = \frac{E}{W};\quad E = J \cdot W;\quad W = \frac{E}{J};$$

wo J die Stromstärke, E die Spannung, W den Widerstand bedeutet.

[2]) Mathematisch lautet das Gesetz: $Q = W \cdot J^2$.

Eine eigentümliche Wärmewirkung des elektrischen Stromes, die aber mit der vorhin beschriebenen Jouleschen Wärme nichts zu tun hat, können wir hier gleich besprechen. Man beobachtet sie, wenn ein elektrischer Strom die Stelle passiert, wo zwei Metalle aneinander gelötet sind, wenn er etwa von einem Eisendraht zu einem Platindraht hinüberfließt. Man findet, daß sich die Lötstelle nach dem Versuch erwärmt hat, eine Erscheinung, die man nach ihrem Entdecker „Peltiersche" Wärme nennt. Wenn diese auch als solche praktisch nicht von Bedeutung ist, so hat doch der umgekehrte Prozeß nützliche Anwendung gefunden: man kann nämlich, wenn man sich aus zwei solchen Drähten einen Bügel bildet, (Abb. 6) und die eine Lötstelle b etwa auf

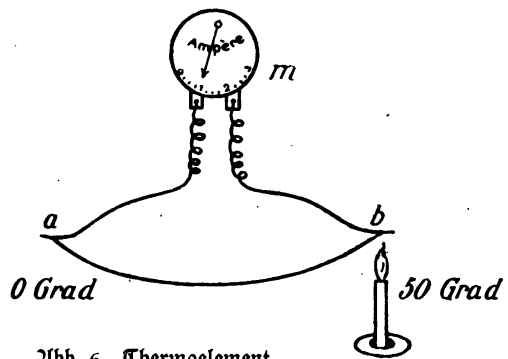


Abb. 6. Thermoelement.

50° erwärmt, die andere, a, auf 0 Grad hält, einen elektrischen Strom erzeugen, dessen Stärke abhängt zunächst, innerhalb gewisser Grenzen, von dem Temperaturgefälle zwischen a und b, dann aber auch von der Natur der zu verwendenden Metalle, wovon übrigens auch die Stromrichtung abhängt. Durch passende Wahl der Metalle und Anhäufung solcher Bügel hat man Stromquellen, sogenannte Thermoelemente konstruiert, die es gestatten, in sehr bequemer Weise Strom zu gewinnen, indem man nur eine Flamme ansteckt.

Wichtiger als die Anwendung des Thermoelementes zur Stromerzeugung ist seine Benutzung zur Temperaturbestimmung. Schaltet man nämlich, wie die Abb. 6 zeigt, in den Stromkreis einen empfindlichen Stromzeiger, hält die eine Lötstelle auf 0 Grad und bringt die andere auf bekannte Temperaturen, so kann man

auf der Skala Marken anbringen, die bestimmten Temperaturen an der Stelle b entsprechen, da ja der Strom im gleichen Maße anwächst, wie die Temperatur steigt. Man hat so ein Thermometer hergestellt. Nun kann man freilich viel bequemer Wärmegrade mit einem der bekannten Quecksilberthermometer messen, aber es gibt sehr viele Fälle, wo ein solches nicht anwendbar ist. Oft ist es nicht möglich, mit einem Quecksilberthermometer an Stellen zu gelangen, wo Temperaturmessungen vorgenommen werden sollen, was mit dem Thermoelement ein Leichtes ist. Man kann

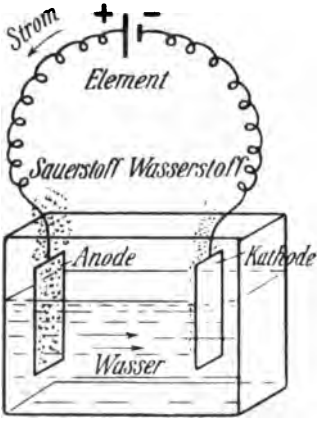


Abb. 7.
Die Elektrolyse.

es z. B. für medizinische Zwecke mit Vorteil benützen, wenn man die Lötstelle b zu einer feinen nadelförmigen Spitze auszieht; dann läßt sich diese in Körperteile, in die Haut usw. einsenken, und da die Methode äußerst empfindlich ist, so lassen sich die genauesten Bestimmungen machen.

Eine andere nützliche Anwendung des Thermoelementes besteht darin, sehr hohe Temperaturen messen zu können. Mit einem Quecksilberinstrument reicht man höchstens bis zu Temperaturen von 350°, während das Thermoelement solche bis zu 1600 zu messen gestattet. Dieser einfache Apparat, ein sogenanntes Pyrometer, besteht aus einer Metallkombination von Platin und Platinrhodium und wird nach seinem Erfinder Le Chatelierscher Instrument genannt. Damit sich die Drähte nach der Lötstelle nicht berühren, werden sie in Porzellanröhren

eingeschlossen, welche an die erhitzte und zu messende Stelle gebracht werden. —

Ein Mittel, den Strom direkt praktisch zu messen, finden wir bei der sogenannten Elektrolyse. Man versteht darunter die Wirkungen des Stromes in Flüssigkeiten. Taucht man beispielsweise zwei Platinbleche, die sogenannten Elektroden in eine Wanne mit schwach angesäuertem Wasser, und verbindet durch einen Draht die Elektroden mit den Polen eines Elementes, so geht der Strom durch die Flüssigkeit hindurch. Dabei beobachtet man, wie die Abb. 7 veranschaulichen soll, daß an beiden Elektroden Gasblasen aufsteigen, und zwar wie die Untersuchung zeigt, dort, wo der Strom eintritt an der Anode Sauerstoff, dort wo er austritt, an der Kathode Wasserstoff, der Strom hat das Wasser in seine beiden Bestandteile, in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt, und zwar zufolge der Zusammensetzung des Wassers von letzterem doppelt soviel wie von ersterem. Nun sagt uns das Faradaysche Gesetz, daß „die in einem Elektrolyten, wie man die Flüssigkeit allgemein nennt, durch den Strom abgeschiedenen oder zersetzten Mengen eines Stoffes der Stromstärke proportional sind." So hat man in unserem Beispiel eine ganz bestimmte Stromstärke nötig, um etwa 10 cbcm Wasserstoff und 5 cbcm Sauerstoff in der Minute abzuscheiden, und ist sie so bemessen, daß in einer Sekunde 0,01044 mgr Wasserstoff und 0,08287 mgr Sauerstoff abgeschieden werden, dann hat man den Strom von 1 Amper, das Einheitsmaß für die Stromstärke.

Führt man den Versuch aus, mißt also die in einer bestimmten Zeit abgeschiedenen Mengen Sauerstoff oder Wasserstoff, und schaltet gleichzeitig in den Stromkreis einen wie oben beschriebenen Stromzeiger, so kann man sich auf dessen Teilung die Punkte merken, die 1, 2, 3 usf. Amper entsprechen und hat dann ein Instrument, das direkt die Stromstärke in Amper abzulesen gestattet, ein Ampermeter.

Mit diesem Ampermeter sind wir nun imstande, direkt die Spannung, die beispielsweise an den Polen einer Batterie herrscht, zu berechnen, wenn wir den Widerstand der Leitung kennen. Erinnern wir uns des Ohmschen Gesetzes und bedienen wir uns der Kürze halber der mathematischen Bezeichnungsweise, so ist ja nach Seite 8, Anmerkung,

$$E = J \cdot W.$$

Wollen wir aus dieser Gleichung die Spannung berechnen, so müssen wir die Stromstärke mit dem Widerstand des ganzen Stromkreises multiplizieren. Das wäre freilich für die Praxis ein recht umständliches Verfahren und auch gar nicht durchführbar, da der Widerstand sich in den verschiedenen Teilen der Leitung fortwährend ändert. Wäre dieser aber konstant, dann könnte man auf der Teilung des Instrumentes direkt die Zahlen anbringen, die der Spannung von 1, dann von 2, 3 usf. hintereinander geschalteten Elementen entsprechen, und wählt man Elemente, die gerade die Spannung von je einem Volt (siehe später) besitzen, so hat man sich einen Voltmeter, einen Spannungszeiger konstruiert. Da man aber natürlich den Widerstand der Leitung nicht konstant halten kann, so stellt man die Spule des Voltmeters, das im übrigen gerade so konstruiert ist wie ein Ampermeter, aus einer großen Anzahl Windungen von sehr dünnem Drahte her, so daß wegen des hohen Widerstandes nur ein verschwindend kleiner Bruchteil des Stromes hindurch geht. Der Widerstand des Instrumentes bleibt konstant, und ein Blick auf das Ohmsche Gesetz sagt uns sofort, daß der Zeiger des Instrumentes nur dann seine Stellung ändert, wenn die Spannung dort, wo die Leitung mit den Klemmen desselben verbunden ist, sich ändert.

Wir haben aber hier zwei verschiedene Schaltungsarten: das Ampermeter liegt im Hauptstromkreis, es geht der gesamte Strom hindurch; das Voltmeter liegt im Nebenschluß, es geht nur ein geringer Teil des Hauptstromes hindurch.

Wie ein Amper- und Voltmeter praktisch eingerichtet ist, sollen die Abb. 8 und 9 zeigen; dort ist eine der vielen Konstruktionen veranschaulicht. In beiden Fällen haben wir eine Drahtspule, die eine Öffnung von etwa 1,5 cm Durchmesser besitzt. Auf der einen Seite der Spule sehr fein, beinahe ohne Reibung gelagert, ist ein Wagebalken (vergl. die Beschreibung auf S. 8) der in seinem Drehpunkte den Zeiger trägt. An einem Ende, ebenfalls leicht beweglich angeordnet, hängt ein dünner Eisenstift aus sehr weichem Eisen in die Spule hinab, der durch ein Laufgewicht g so ausgeglichen wird, daß der Wagebalken horizontal, resp. der Zeiger auf Null steht. Wie die Schaltung des Amper- und Voltmeter geschieht, haben wir schon erwähnt, alles übrige dürfte aus der Zeichnung hervorgehen.

Wir müssen jetzt zur Definition für die Einheitsmaße zurückkehren und nehmen zunächst den Widerstand vor. In der Technik

wird gewöhnlich das diesem zugrunde liegende Einheitsmaß Ohm genannt,[1]) und zwar versteht man darunter denjenigen Widerstand, den eine Quecksilbersäule von einem qmm Querschnitt, von 1,06 m Länge bei 0 Grad Celsius dem elektrischen Strom entgegensetzt. Die Siemenssche Einheit bezieht sich auf einen gleichen Faden von 1 m Länge. Der Grund, weshalb das Ohm sich gerade auf 1,06 m bezieht, rührt von einer anderen Ableitung des Widerstandbegriffes her, die wir aber hier nicht weiter verfolgen können.

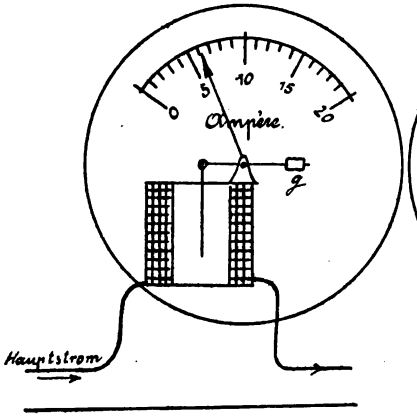


Abb. 8. Ampermeter.

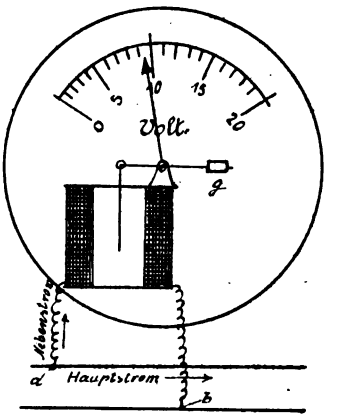


Abb. 9. Voltmeter.

Haben wir nun für Stromstärke und Widerstand ihre Maße Amper und Ohm gefunden, so gibt uns das Ohmsche Gesetz direkt das Einheitsmaß für die Spannung, wenn wir I und W in Amper und Ohm ausdrücken. Dieses Einheitsmaß führt den Namen Volt[2]). Natürlich kann man auch diese Einheit für sich ableiten, was wir aber nicht ausführen wollen.

Wir hatten vorhin kurz die Elektrolyse besprochen und aus ihren Wirkungen ein Maß für die Stromstärke abgeleitet. Jetzt wollen wir eine andere Wirkung derselben vornehmen, die für die Elektrotechnik eine ungeheuere Bedeutung erlangt hat, nämlich

[1]) So genannt nach dem berühmten Forscher Ohm.
[2]) Ebenfalls nach einem bedeutenden Forscher namens Volta so genannt.

untersuchen, wie sie dazu dient, um Strommengen aufzuspeichern. Ein Element, wie etwa das oben besprochene Zink-Kupferelement, nennt man auch wohl Primärelement, weil es aus sich selbst heraus Strom zu geben imstande ist und nicht erst nötig hat, von außen her angeregt zu werden. Es gibt indessen auch Elemente, Akkumulatoren oder Sammler genannt, die einen kräftigen Strom geben, aber erst dann wirksam werden, nachdem sie zuvor Strom von einer anderen Quelle aufgenommen haben, nachdem sie „geladen" sind. Diese Elemente, die man auch im Gegensatz zu den oben erwähnten Sekundärelemente nennt, sind ungleich wirksamer als jene, die sich niemals dazu eignen würden, auf die Dauer starke Ströme zu liefern, und daher für die Starkstromteechnik gar nicht in Betracht kommen können. Die Akkumulatoren dagegen sind geradezu für die elektrische Kraft und Lichtanlagen unentbehrlich geworden, und wir müssen sie etwas eingehender besprechen.

Die Wirkung des Akkumulators beruht, wie schon angedeutet, auf einer Erscheinung, die wir als Elektolyse kennen gelernt hatten. Wie auf Seite 11 beschrieben, können wir vermittels zweier Platinbleche den Strom durch eine Flüssigkeit hindurch senden. Aber während wir dort nur die rein äußerlichen Erscheinungen beobachteten, nämlich die Bildung von Sauerstoff und Wasserstoff, zeigt uns die eingehendere Untersuchung, daß durch die Arbeit des Stromes die Platinbleche auf ihrer Oberfläche eine Veränderung erfahren haben, daß, mit anderen Worten, nicht mehr zwei Platten aus demselben Material im Element sich gegenüberstehen, sondern zwei Platten, die, wenigstens oberflächlich, aus verschiedenen Substanzen bestehen: Die Platten sind durch den Strom polarisiert worden, es hat eine Polarisation stattgefunden. Aber immer da, wo in einer solchen Flüssigkeit zwei Platten von verschiedener Beschaffenheit sich gegenüberstehen, da hat man ein galvanisches Element, sofern jene überhaupt Leiter sind. Verbindet man nun die beiden Elektroden mit einem Draht, und schaltet noch ein Galvanometer ein, so beobachtet man, daß ein Strom fließt, und zwar im entgegengesetzten Sinne als der, den wir zur Polarisation benutzten. Dieser Strom, den man Polarisationsstrom nennt, fließt also auch im Innern des Elementes in umgekehrter Richtung, und da er auch wieder eine entsprechende Veränderung an der Elektrodenoberfläche hervorruft, führt er diese naturgemäß wieder in den früheren Zustand zurück, wir

haben bald wieder zwei Elektroden aus reinem Platin, womit die weitere Stromabgabe beendigt ist.

Es ist einleuchtend, daß, je tiefer und inniger die Veränderung der Elektroden beim Stromdurchgange ist, man umsomehr wird erwarten können, daß das Element einen länger anhaltenden Strom abzugeben vermag. Damit aber diese Veränderung recht tief eingreife, ist es nötig, das richtige Elektrodenmaterial auszuwählen, Platin eignet sich, abgesehen von dem enorm hohen Preise, durchaus nicht hierzu. In dem Bestreben, hierin das vollkommenste zu erreichen, entstand der Akkumulator, wobei sich ergab, daß trotz allem, was man auch versucht hat, die Bleiplatte praktisch die beste ist.

Der erste brauchbare Akkumulator stammt von Gustav Planté. Wie noch heute, bestand sein Element aus Bleielektroden, die in verdünnte Schwefelsäure hineingetaucht sind. Wir wollen uns den Vorgang beim Laden des Elementes kurz vor Augen führen, müssen aber zuvor etwas auf die chemische Natur der Schwefelsäure eingehen. Sie ist nämlich zusammengesetzt aus 1 Teil Schwefel, 4 Teilen Sauerstoff, 2 Teilen Wasserstoff. Bedienen wir uns der Kürze halber im Folgenden der üblichen chemischen Bezeichnungen, und setzen für Schwefel den Buchstaben S, für Sauerstoff O, für Wasserstoff H, und deuten die Maßverhältnisse durch kleine Zahlen an, dann gelangen wir zu der Formel:

$$\text{Schwefelsäure} = S_1 O_4 H_2.$$

Wenn der Strom die Zelle durchsetzt, dann spaltet sich die Schwefelsäure in die Bestandteile

$$S_1 O_4 \mid H_2 \text{ [1]}).$$

Der Wasserstoff scheidet sich, wie wir wissen, an der negativen Elektrode aus, wobei diese mit den Wasserstoffatomen beladen wird. Wir erinnern uns aber auch, daß beim frühern Versuch an der positiven Elektrode der Sauerstoff frei wurde, der, da er das Platin nicht angreifen konnte, in die Luft entwich. Hier aber hat der Sauerstoff, der stets auf Opfer lauert, Gelegenheit, sich mit einem Körper, dem Blei zu vereinigen, er trennt sich schnell, SO_3 zurücklassend, von der Verbindung SO_4, die ohne-

[1]) Man läßt die Verhältniszahl 1 in der Chemie fort, schreibt also nicht S_1 oder O_1, sondern einfach S und O usw.

dies nicht frei als solche bestehen kann, findet bald einen Gesinnungsgenossen und fällt nun mit diesem über das Blei (chemische Bezeichnung: Pb) her, die Verbindung PbO_2, Bleisuperoxyd bildend, während die zurückgebliebene Verbindung SO_3 mit Wasser, das die chemische Zusammensetzung H_2O hat, wieder Schwefelsäure bildet:

$$SO_3 + H_2O = SO_4H_2.$$

Wiederholen wir kurz das besprochene, so können wir sagen: durch die Wirknug des Stromes im Bleiakkumulator wird diejenige Elektrode, wo der Strom eintritt, also die Anode, zum Teil zu braunem Bleisuperoxyd umgewandelt, während die Kathode als Metall unverändert bleibt, letzteres erhält dabei ein schwammiges Aussehen von fein verteiltem Blei. Man muß nun nicht glauben, daß diese Umwandlung gleich mit dem ersten Laden eingreifend genug sei, um sofort den fertigen Akkumulator zu liefern. Allerdings kann man sehr bald, sowie man zwei Bleiplatten in Schwefelsäure taucht und einen Strom hindurch sendet, ein kräftiges dunkelbraunwerden der positiven Platte wahrnehmen, wobei die negative das charakteristische bleigraue Aussehen erhält. Gar bald aber verraten die stark austretenden Gasblasen, daß Wasserstoff und Sauerstoff ihre Arbeit bereits dort unten getan. Die schon gebildeten Produkte verhindern ein weiteres Eindringen, so daß der Strom nur noch zur Gasentwicklung verbraucht wird. Man kann daher auch nicht erwarten, den in den Akkumulator hineingesandten Strom wieder ganz herauszunehmen, man findet vielmehr, daß das Verhältnis der entnommenen zur hineingesteckten Energie, der *Wirkungsgrad* des Akkumulators zunächst noch ein sehr klägliches ist. Um diesen zu vergrößern, muß man die Oberflächen der Bleiplatten vergrößern, was dadurch bewirkt wird, daß man sie mit einer großen Anzahl feiner Rippen ausrüstet. Diese Platten werden dann „*formiert*", d. h. man ladet und entladet sie wieder und wiederholt diesen Prozeß viele hundertmal, wobei sich die wirksamen Schichten immer mehr und mehr ausbilden.

Daß ein solches Verfahren sehr langwierig und kostspielig ist, ist selbstverständlich, und es hat nicht an Versuchen gefehlt, dasselbe zu beschleunigen. Auf diese Weise entstanden die sogenannten Massenplatten. Diese zeichnen sich dadurch aus, daß man in die Rippen der positiven Platte einen Brei aus Mennige

(eine Verbindung von Blei mit Sauerstoff) und Schwefelsäure, in die der negativen eine Paste aus Bleiglätte einträgt. Dadurch bildet sich die wirksame Schicht in sehr viel kürzerer Zeit; es tritt hier indes der Nachteil auf, daß die Masse, zumal an der positiven Platte leicht herabfällt. Das letztere Verfahren stammt von Faure.

Jeder Akkumulator ist für eine bestimmte Stromstärke gebaut, derartig, daß er einen bestimmten Strom eine bestimmte Zeit hindurch abzugeben vermag, und man nennt das Produkt aus Zeit und Stromstärke die „Kapazität" des Akkumulators. Spricht man also von 20 Stunden Kapazität, so heißt das, man kann 10 Stunden lang einen Strom von 2 Amper, oder 20 Stunden, einen solchen von 1 Amper entnehmen. Wohl hüten muß man sich, einen stärkeren Strom als den maximalen, der für jede Batterie angegeben wird, dem Akkumulator zu entnehmen. So würde man sicherlich den hier als Beispiel angeführten Akkumulator völlig ruinieren, wollte man ihm 20 Amper eine Stunde lang entnehmen. Der Grund hierfür liegt darin, daß bei einer so großen Stromstärke die Platten sich verziehen und gegenseitig berühren. Oft findet man auch, daß ein Akkumulator längere Zeit hindurch in entladenem Zustande stehen bleibt; auch hierdurch wird er verdorben. Es bildet sich dann unter anderem Bleisulfat auf den Platten, wovon sich schließlich ein dichter Überzug herstellt, der nicht wieder entfernt werden kann und in der Säure auch nicht löslich ist. Da dieses Bleisulfat ein Nichtleiter ist, so ist dadurch natürlich die Wirksamkeit des Elementes gestört. Was die Konzentration der Schwefelsäure anbelangt, so soll dieselbe im ungeladenen Akkumulator das spezifische Gewicht von 1,17 bis 1,18 haben; während der Ladung steigt dasselbe bis 1,20 resp. 1,21.

Nicht nur im großen, in der Technik leistet der Akkumulator die wertvollsten Dienste, wie wir später noch sehen werden, er hat sich vielmehr auch Eingang verschafft in gar manche Verhältnisse des Privatlebens. Wegen des geringen inneren Widerstandes und wegen seiner Fähigkeit, große Strommengen aufzunehmen, ist er imstande, starke Ströme abzugeben. So leistet er dem Arzte wertvolle Dienste zum Betriebe seines Elektrisierapparates, zur Betätigung der Röntgenröhre, zum Heizen der Platinösen usw. Mit einer Zusammenstellung von 3 bis 4 Elementen, einer Batterie — ist es sehr leicht, eine kleine Zimmerbeleuchtung für den Nachtdienst einzurichten, größere Batterien

findet man auf Eisenbahnzügen zum Betrieb der elektrischen Lampen.

Bei guter Behandlung hat ein Akkumulator einen Wirkungsgrad von 80 bis 85 %; die Klemmenspannung eines Elementes beträgt zwei Volt. Laden wir also eine Batterie von 10 Elementen 10 Stunden lang mit zwei Amper, so kann man bei 20 Volt Spannung einen Strom von 2 Amper 8 Stunden lang der Quelle entnehmen.

Was die praktische Ausführung der Sekundärelemente anbelangt, so baut man die Platten bei den kleineren in Glasgefäße ein, bei großer Ausführung aber in Holzkästen die mit Blei gefüttert sind. Bei den transportablen Batterien benutzt man auch Kästen aus Hartgummi oder Zelloidin. Um die Kapazität zu vergrößern, stellt man nicht eine positive Platte einer negativen gegenüber, sondern man baut, je nach der Größe, eine ganze Anzahl von Platten ein und zwar bringt man eine positive zwischen zwei negative; die gleichnamigen Platten werden dann unter sich verbunden.

Ein Bleiakkumulator hat natürlich ein ansehnliches Gewicht. Wäre das nicht der Fall, so würde sein Verwendungsgebiet noch ein außerordentlich viel größeres sein. In dem Bestreben, große Elektrizitätsmengen in kleinem Raume bei geringem Gewichte unterzubringen, sind zahllose Versuche gemacht, die aber bisher, selbst die von Edison, noch keine praktischen Erfolge gehabt haben. Ja, würde das Problem glänzend gelingen, welche Umwandlung auf dem Gebiete des Verkehrswesens würde das zur Folge haben! Die Technik für die Fortbewegung würde sicherlich die Dampfmaschine und den Benzinmotor mit dem Elektromotor vertauschen, der in bezug auf seine Einfachheit, wie wir sehen werden, alle anderen Triebkräfte weit in den Schatten stellt. —

Bei der Besprechung der Elektrolyse hatten wir gesehen, daß der elektrische Strom imstande ist, flüssige Leiter, (auch Leiter zweiter Klasse genannt) in ihre Bestandteile zu zerlegen, und wir konnten damals, wenn wir das Experiment ausführten, beobachten, wie die Bestandteile an den Elektroden frei wurden. Einen Elektrolyten kann man sich nicht nur dadurch beschaffen, daß man Wasser mit etwas Säure mischt, oder gar selbst, wie beim Akkumulator verdünnte Schwefelsäure nimmt, sondern auch dadurch, daß man irgend ein Metallsalz in Wasser auflöst. Als Beispiel nehmen wir eine wässrige Lösung von Kupfervitriol. Dieses

bekannte blaue Salz bildet sich, wenn Schwefelsäure (SO_4H_2) auf metallisches Kupfer einwirkt und enthält demgemäß einen Teil der Säure chemisch verbunden mit Kupfer. Und nun erinnern wir uns des auf Seite 15 beschriebenen Vorgangs, wo durch den elektrischen Strom die Schwefelsäure in H_2 und SO_4 gespalten wurde. Genau dasselbe haben wir im vorliegenden Falle, nur mit dem Unterschiede, daß wir an stelle des Wasserstoffs Kupfer zu setzen haben, das nun ebenso, wie es der Wasserstoff tun würde, zur negativen Elektrode, zur Kathode wandert und dort frei wird. Und wie dort die Wasserstoffbläschen sich an die Kathode schmiegten, so legt sich hier das frei werdende Kupfer Teilchen für Teilchen an die Kathodenoberfläche, diese in kurzer Zeit völlig mit einer Kupferschicht überziehend. Der Vorgang würde freilich bald zu Ende sein, die Kupferverbindung bald all ihr Kupfer hergegeben haben, wenn nicht für Ersatz gesorgt würde. Dies geschieht in sehr einfacher Weise dadurch, daß man als Anode Kupfer nimmt, überhaupt ganz allgemein dasjenige Metall wählt, mit dem der Überzug geschehen soll. Jetzt besorgt der Strom das Erhalten der Konzentration der Flüssigkeit selbst, denn für jedes Metallteilchen, das an der Kathode niedergeschlagen wird, wird zum Ersatz ein Teilchen an der Anode gelöst, so daß man auf diese Weise imstande ist, den „galvanischen Überzug" beliebig dick zu machen. Die Technik, die sich auf diese Wirkung begründet hat, nennt man Galvanoplastik.

Das Verfahren, auf diese Weise Gegenstände galvanisch mit irgend einem Metall zu überziehen, ist so außerordentlich einfach und so vielseitig anwendbar, daß sich ein bedeutender Industriezweig aus ihm entwickelt hat, und während es früher, beispielsweise das Vergolden im Feuer, große Geschicklichkeit erforderte, sollte die Arbeit gelingen, ist heutzutage jeder Laie imstande, mit einiger Sorgfalt recht brauchbare Metallüberzüge selbst herzustellen, oder, wie bei der eigentlichen Galvanoplastik, Abdrücke von Münzen und dergl. anzufertigen. Es ist allerdings nicht gleichgültig, welche Metallsalze man nimmt, es haben sich vielmehr Zusammenstellungen verschiedener Chemikalien gefunden, die sich zum galvanischen Verfahren besonders eignen. So hat man z. B. folgende Rezepte:

Vernickeln. Eine gesättigte Lösung von schwefelsaurem Nickeloxydulammoniak, dieser wird pro Liter 25 g Ammoniumsulfat und 5 g Zitronensäure zugefügt.

Vergolden. 1 g Cyankali auf 1 Liter Wasser, dazu kommen 50 g phosphorsaures Natron, 15 g doppeltschwefelsaures Natron und 1,5 g Chlorgold.

Versilbern. 12 g Cyankalium in 1 Liter Wasser, dazu setzt man 46 g Kaliumsilbercyanid.

Die Flüssigkeit wird in ein Gefäß aus Porzellan oder Glas eingefüllt, dann taucht man die zu überziehenden Gegenstände dort hinein und stellt ihnen gegenüber das betreffende Metall als Anode, das also die Elektrode bildet, wo man den Strom einführt (mit dem positiven Pol der Batterie zu verbinden).

Bei diesen Arbeiten muß man noch darauf achten, daß der Strom die richtige Stärke besitzt, und man spricht von bestimmter Stromdichte, die sich für den einzelnen Fall besonders eignet. Unter Stromdichte versteht man diejenige Stromstärke, die auf eine bestimmte Fläche der Anode kommt; sie beträgt beim Vernickeln etwa 0,6, beim Vergolden 0,2, beim Versilbern ca. 0,5 Amper pro Quadratdezimeter.

Will man, wie dies bei der Galvanostegie geschieht, Gegenstände mit einem Metall überziehen, so daß der Überzug dauernd haften bleibt, so muß zuvor der Gegenstand auf das sorgfältigste gereinigt sein. Es genügt keineswegs, daß er blank aussieht, etwa mit Putzpomade behandelt wurde, er muß eine rein metallische Oberfläche besitzen, also frei sein von Fettschichten, von Staub oder Oxyd. Will man aber Kopien von Münzen und dergleichen machen, so darf der Überzug nicht fest anhaften. Man läßt in diesem Falle den Strom so lange einwirken, bis sich ein dicker Überzug gebildet hat, der dann, wenn das Original etwas eingefettet war, leicht abgezogen werden kann.

Eine sehr interessante Anwendung der Elektrolyse finden wir ferner bei der Metallgewinnung. Wir können hier freilich nicht alle die Verhüttungsprozesse besprechen, die bei den verschiedenen Metallen zur Anwendung kommen, wollen aber doch ein Verfahren beschreiben, das besonders interessant ist, zumal da es zeigt, wie ein Metall, nämlich das Aluminium erst durch das elektrische Darstellungsverfahren marktgängig, ja sogar billig geworden ist. Zur Gewinnung dieses geschätzten Materials benutzt man einen eigentümlich gebauten elektrischen Ofen, den Abb. 10 im Querschnitt zeigt. Er besteht aus einem Tiegel aus Kohle K, der durch den Eisenmantel F verstärkt ist. In diesen Tiegel

bringt man zuerst gewisse Flußmittel, Salze aus Aluminium und Natrium und füllt dann beim Betrieb fortwährend das eigentliche Ausgangsprodukt, Aluminiumoxyd, nämlich Tonerde, nach. Die Anode befindet sich über der Öffnung des Tiegels und besteht aus einem Bündel Kohlenplatten; die Kathode, also der Leiter, wo sich das Metall abscheidet, befindet sich am Boden und ist aus Eisen hergestellt. Bei der hohen Temperatur würde sich dieses aber mit dem Aluminium verbinden, um es zu verhüten, kühlt man, wie aus der Abbildung zu ersehen, fortwährend die Elektrode durch einen Wasserstrahl. Will man den Ofen in Betrieb setzen, so

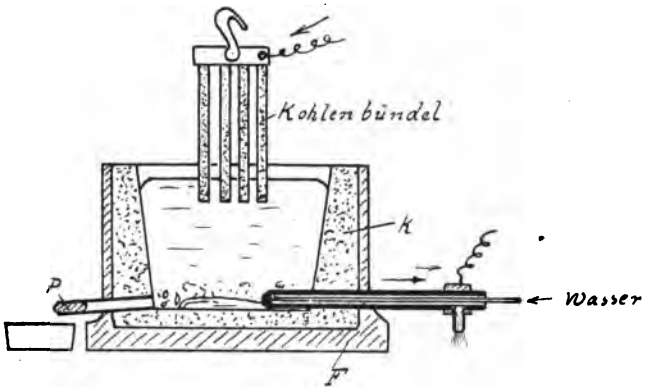


Abb. 10. Elektrischer Ofen zur Gewinnung von Aluminium.

muß man ihn zuerst „anstecken", d. h. man senkt das Kohlenbündel bis zur Berührung mit der Kathode hinab und entfernt sie dann langsam wieder. Dadurch entsteht ein elektrischer Flammenbogen von so hoher Temperatur, daß die Flußsalze schmelzen. Jetzt ist das Verfahren eingeleitet, die Elektroden werden mehr und mehr entfernt, der Flammenbogen erlischt, der Strom geht jetzt durch die geschmolzene Masse hindurch und entwickelt dabei eine so enorme Wärme, die Joulesche Wärme, daß die Tonerde flüssig erhalten bleibt und nun durch Elektrolyse das Aluminium an der Kathode genau ebenso abgeschieden wird, wie das Kupfer in unserem früheren Beispiel. Durch Entfernen des Pflockes P wird das fertige Metall von Zeit zu Zeit abgelassen, ähnlich wie das Eisen aus einem Hochofen.

Das Verfahren erfordert natürlich kolossal starke Ströme, allerdings bei niedriger Spannung. Es befinden sich deshalb solche Werke vorzugsweise in Gegenden, wo genügend Wasserkraft vorhanden ist, um die gewaltigen Maschinen anzutreiben, welche die elektrische Energie liefern sollen. So kommen vor allem die Aluminiumwerke in Neuhausen in der Schweiz in Betracht, die dem Rheinfall etwa 2000 Pferdestärken Kraft entnehmen und dann mittels riesiger Dynamos Ströme bis zu 12000 Amper bei 10 bis 15 Volt Spannung erzeugen.

2. Kapitel.

Wechselbeziehung zwischen elektrischem Strom und Magnetismus; die Induktionserscheinungen.

Nicht weniger interessant, und für die praktische Anwendung wohl noch wichtiger als die zuletzt besprochenen Erscheinungen, sind jene Wirkungen des elektrischen Stromes, die wir auf dem Gebiete des Magnetismus antreffen und die wir im folgenden Kapitel besprechen wollen.

Als eine dieser Wirkungen hatten wir schon kurz auf die Fähigkeit des Stromes hingewiesen, Magnetismus zu erzeugen. Die genaue Beobachtung zeigt zunächst, daß immer dann, wenn ein Draht vom Strome durchflossen wird, in unmittelbarer Nähe des Drahtes, und zwar längs desselben eigentümliche Kräfte auftreten, die beispielsweise eine Kompaßnadel aus der Nord-Süd-richtung abzulenken vermögen. Diese Kräfte kann man offenbar verdoppeln, wenn man einen zweiten Draht parallel zum ersten legt, ohne ihn zu berühren und diesen dann von einem gleichen Strome durchfließen läßt; man kann sie verdreifachen, kurz die Wirkung viel kräftiger gestalten, wenn man sich ein System von vielen parallel gespannten Drähten bildet, oder, was dasselbe ist, wenn man denselben Draht in Form einer Spule aufwindet, wie dies in Abb. 11a angedeutet ist.

Dort laufen die einzelnen Windungen parallel zueinander und wenn man etwa unten den Strom einführt, so hat man in sämtlichen vorderen Windungen einen gleichgerichteten Strom von links nach rechts. Nun äußern sich die oben beschriebenen Kräfte um den Draht derartig, daß sie konzentrisch diesen umgeben, und zwar je nach der Stromrichtung ebenfalls in einer bestimmten Richtung: blicken wir in der Stromrichtung den Draht entlang, so verläuft die Richtung der Kräfte im Sinne des Uhrzeigers. (Abb. 11b.) In Abb. 11a ist dies dadurch gekennzeichnet,

daß kleine Pfeile um die Windungen gelegt sind. Verfolgt man das Bild genauer, so sieht man, daß am unteren Ende der Spule die Pfeile in diese hineintauchen, am oberen aber sie verlassen und man erkennt leicht, daß aus der Summe dieser Kräfte eine Kraft resultiert, die für sich so wirken muß, wie es in Abb. 12 durch die großen Pfeile angedeutet ist.

Eine solche vom Strom durchflossene Spule zeigt also eine viel stärkere Wirkung, wie ein einzelner Draht, und je größer die Anzahl der Windungen bei einem bestimmten Strome ist, um so größer wird offenbar auch die Kraftwirkung. Wir haben uns

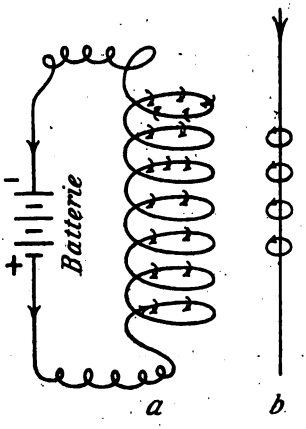


Abb. 11. Stromspule.

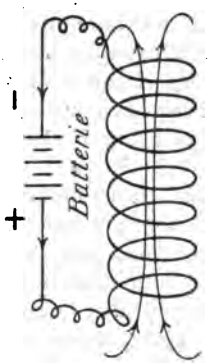


Abb. 12. Stromspule.

hier einen Apparat konstruiert, der in der Elektrotechnik eine ungeheuer wichtige Rolle spielt, nämlich einen Elektromagneten, dessen Wirkung noch dadurch zu einem Maximum gesteigert wird, daß man einen Eisenkern in die Spule hineinbringt, an dessen Enden sich die magnetischen Kräfte verdichten und in der Umgebung wirksam werden. Diese Enden nennt man, genau so wie beim bekannten Stahlmagneten, Pole: wir haben einen Süd und einen Nordpol. An den Polen wirkt aber der Magnetismus am stärksten, er nimmt nach der Mitte zu allmählich ab. Der Bereich, in dem um den Magneten herum die Kraft wahrnehmbar ist, wo sie stärker oder schwächer auftrifft, nennt man das magnetische Kraftfeld, dessen Stärke dadurch charak-

terisiert ist, daß man sagt: der Magnet von einem bestimmten Kraftfeld besitzt eine bestimmte Anzahl Kraftlinien. Dieser letzte wichtige Begriff ist in der Tat eine sehr gut gewählte Bezeichnung; man kann sich experimental sehr leicht ein solches Kraftfeld vor Augen führen, und hat dann ganz den Eindruck, als ob man wirklich die Kraftlinien verfolgen könne. Zu diesem Zwecke bedecken wir einen gewöhnlichen Hufeisenmagneten aus Stahl, einen sogenannten permanenten (dauernden) Magneten, mit einem Blatt Papier und streuen feines Eisenpulver auf. Sofort erkennen wir, wie unter dem Einfluß des Magnetismus die leicht beweglichen Teilchen sich zu einer be-

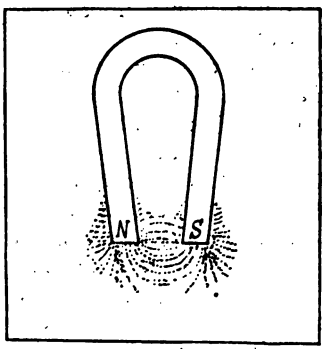


Abb. 13. Magnetisches Kraftfeld.

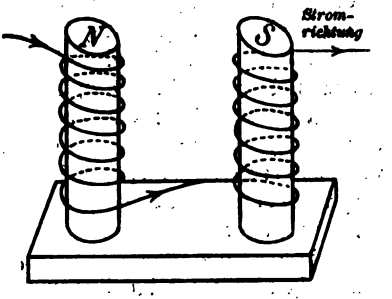


Abb. 14. Elektromagnet.

stimmten Figur ausbilden, die uns ohne weiteres den Verlauf der wirkenden Kräfte darstellt. (Abb. 13.)

Damit man imstande sei, die beiden Pole eines Magneten gleichzeitig auf einen Gegenstand wirken zu lassen, ist für gewöhnlich der Magnet in Form eines Hufeisens umgebogen, oder, wie es meist beim Elektromagneten geschieht, man verbindet zwei Eisenkerne untereinander durch eine Eisenplatte, das sogenannte Joch. Die ersteren werden dann mit den Drahtwindungen versehen. Abb. 14 stellt einen solchen Magneten dar; wir erkennen, wenn wir etwa die Pole von oben betrachten, daß der Strom die beiden Spulen in entgegengesetztem Drehungssinne durchläuft.

Wäre das nicht der Fall, so hätten wir an den Polen zwei gleichartige Magnetismen, denn es gilt die Regel: Ein Nordpol

wird erzeugt durch einen Strom, der den Magneten im entgegengesetzten Sinne des Uhrzeigers, ein Südpol, wenn er ihn im Sinne des Uhrzeigers umfließt. Wollen wir eine kräftige Wirkung haben, so müssen wir den Strom so leiten, daß sich ein Süd- und Nordpol ausbildet. Als weitere wichtige Regel merken wir uns noch: Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

Wenn wir im Vorigen gesehen haben, daß der elektrische Strom ein magnetisches Kraftfeld erzeugt, so ist die Frage berechtigt: ist der Prozeß umkehrbar, kann man, wenn man etwa in der Nähe eines Drahtes Magnetismus entstehen läßt, in diesem dadurch einen Strom erzeugen? Es zeigt in der Tat das Experiment, daß wir hier eine Wechselwirkung haben, und sich dadurch ein wichtiges Naturgesetz, das Gesetz von der Erhaltung der Energie in augenfälliger Weise bestätigt. Jenes Gesetz verlangt für jede Arbeit, die wir leisten eine entsprechende Gegenarbeit und wenn die Verhältnisse auch oft bei den Naturvorgängen zunächst dem Blick entzogen sind, so liegen sie hier klar vor uns: „Immer dann, wenn man einen Leiter in einem magnetischen Kraftfeld so bewegt, daß Kraftlinien geschnitten werden, so wird in diesem Leiter ein Strom erzeugt." Dies ist das Lenzsche Gesetz, in dem eine Erscheinung zum Ausdruck kommt, die für die Erzeugung des elektrischen Stromes im großen von grundlegender Bedeutung ist, ein Gesetz, auf dem der ganze Aufbau unserer Dynamomaschinen und mancherlei technische Einrichtungen beruhen.

Diese Erscheinungen, bei denen ein elektrischer Strom erzeugt wird, nennt man Induktionsvorgänge, man führt einen Strom ein, man induziert ihn. Wir wollen sehen, wie wir uns am einfachsten solche Induktionsströme verschaffen können und dabei jene Eigentümlichkeiten beachten, die zum Verständnis späterer Ausführungen wünschenswert sind. Schalte ich, wie dies in Abb. 15 dargestellt ist, in den Kreis einer Spule einen empfindlichen Stromzeiger, oder, wie für derartige Instrumente der gebräuchliche Ausdruck lautet, ein Galvanometer, so gibt dieses jedesmal einen Ausschlag, wenn ich einen Stabmagneten in die Spule hineinführe, ein Beweis dafür, daß dadurch ein Strom entstanden ist. Schlägt dabei der Zeiger etwa beim Hineinführen nach rechts aus, so hat man beim Herausziehen einen entgegengesetzten Ausschlag. Jetzt erinnern wir uns

an das früher besprochene, daß ein Elektromagnet je nach der Stromrichtung einen Nord- oder Südpol hat. Das Galvanometer besitzt eine Magnetspule, diese wirkt durch einen hindurchgeleiteten Strom auf den Zeiger derartig, daß dieser, je nach der Stromrichtung nach links oder rechts abgelenkt wird. Wir haben daher durch die Bewegung des Magneten einen Strom erzeugt, der in dem Momente, wo die Bewegung umgekehrt wird, auch

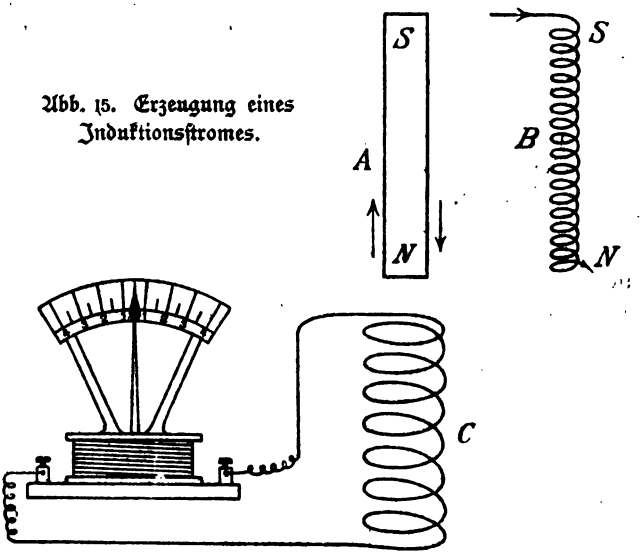


Abb. 15. Erzeugung eines Induktionsstromes.

seine Richtung ändert, es ist kein Gleichstrom, der immer seine Richtung beibehält, sondern ein Wechselstrom, der seine Richtung ändert je nach den Bedingungen, die zu seiner Erzeugung vorlagen. Nun ist weiter ersichtlich, daß die Zahl dieser Wechsel von der Bewegung des Stahlmagneten abhängt, wenn ich diesen in der Sekunde etwa zweimal hebe und senke, so entspricht dies einem Wechselstrom von 120 Perioden in der Minute, oder, wie man sich auch ausdrückt, einem Strome, dessen Frequenz 120 Wechsel pro Minute beträgt.

In gleicher Weise, wie ein Stahlmagnet auf eine Spule einwirkt, muß auch selbstverständlich ein Elektromagnet wirken. Haben wir also zwei Spulen, von denen die eine, wie im vorigen

Beispiele (Spule C) mit einem Galvanometer zu einem Stromkreise verbunden ist, die andere (Spule B) so bemessen ist, daß sie sich in erstere hinein schieben läßt, so können wir das Experiment in derselben Weise ausführen wie vorher, sofern wir Spule B mit Strom versorgen. Nun hängt aber, wie wir wissen, die Feldstärke des Elektromagneten B unter anderem ab von der Stärke des erregenden Stromes; es liegt daher die Frage nahe: wird durch eine Änderung des letzteren auch der induzierte Strom in Spule C beeinflußt? Eine Prüfung zeigt uns sofort, daß dies der Fall ist: unter gleichen Verhältnissen wird der stärkere Strom den stärkeren Strom erzeugen. Mit dieser Erklärung sind wir aber noch nicht zufrieden, es drängt sich vielmehr die weitere Frage auf: was geschieht dann, wenn ich beide Spulen ineinander schiebe, jetzt keine Bewegung vornehme, aber den ursprünglich schwächeren Strom der Spule B mehr und mehr verstärke, bis ich zu dem stärkeren Strome gelange? Auch dann sehen wir, daß in C ein Strom entsteht und beobachten weiter, daß wir stets einen Strom erhalten, mögen wir den Erregerstrom nun stärker oder schwächer machen, oder, was auf dasselbe hinausläuft, mögen wir ihn schließen oder unterbrechen.

Wir können also auf verschiedene Weise Ströme erzeugen, die ihr Vorhandensein indessen denselben Ursachen verdanken, immer wird das Lenzsche Gesetz bestätigt, denn, wenn ich bei der Bewegung direkt die Kraftlinien schneide, so entspricht dies genau dem Falle des Stromschlusses oder der Unterbrechung, indem dies gerade so wirkt, als ob ich plötzlich Spule B in Spule C hineinschöbe und wieder entfernte.

3. Kapitel.

Anwendungen der Induktionsvorgänge. Der Induktionsapparat, die Dynamomaschine.

Als praktisches Beispiel zu den zuletzt genannten Erscheinungen führen wir uns den Induktionsapparat von Ruhmkorff vor Augen. Er dient allerdings nicht zur direkten Stromerzeugung, wird aber dazu benutzt, einen vorhandenen Strom von niedriger Spannung

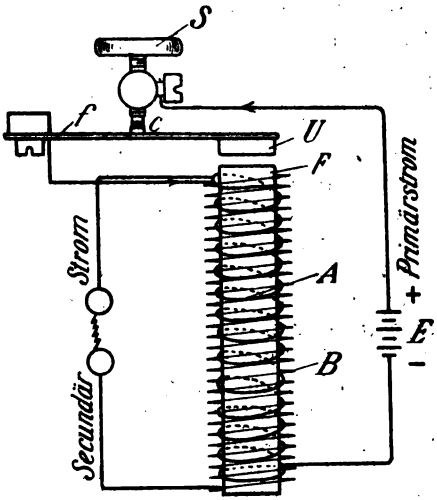


Abb. 16. Schema eines Induktionsapparates.

in einen solchen von höherer umzuformen, ihn zu transformieren. Abb. 16 soll die Konstruktion erläutern. In die Spule A, die wir Primärspule nennen, kann man mittels der Batterie E einen Strom schicken. In dem Moment, wo ein Stromschluß oder eine Unterbrechung stattfindet, wird in B, der Sekundärspule, die aus 10 Windungen bestehen möge, ein

Strom entstehen, wie uns ja bekannt. Es zeigt sich, daß wir dabei für den Sekundärstrom eine bestimmte Spannung nachweisen können, die verdoppelt, verdreifacht usf. wird, wenn wir 20, 30 usf. Windungen im Sekundärstromkreise haben. Wir erkennen daraus, daß wir zu außerordentlich hohen Spannungen gelangen, wenn wir viele Tausende von Drahtwindungen verwenden und der Versuch zeigt, daß wir so mit Leichtigkeit Spannungen zu erzeugen imstande sind, viele Tausende von Volt, die den elektrischen Strom durch die Luft hindurchtreiben, und daß es gelingt, einen Strom in Form eines zackigen Funkens an den Enden der Sekundärspule überspringen zu lassen, selbst dann noch, wenn diese über einen Meter voneinander entfernt sind.

Bei einem solchen Induktionsapparat, der auch nach dem Forscher, der ihn zum ersten Male in dieser Form konstruiert hat, Ruhmkorff genannt wird, geschieht das Unterbrechen und Schließen des Stromes nicht von der Hand aus, sondern gewöhnlich durch den Apparat selbst. Zu diesem Zwecke liegt in der Primärspule ein Bündel Eisendrähte, ein Eisenkern F. Diesem gegenüber befindet sich eine Feder die bei f am Gestell befestigt ist und sich im Ruhezustand an der Kontaktstelle c gegen die Regulierschraube S andrückt. Verbindet man den Apparat mit der Stromquelle E, so passiert der Strom die Spule. Dadurch wird aber im selben Moment der Eisenkern magnetisch, der dann das Eisenstück U anzieht. Da dieses mit der Feder f fest verbunden ist, so wird bei c der Strom unterbrochen, also die Spule stromlos. Nun schnellt f und U zurück, c schließt wieder den Strom und das Spiel beginnt von neuem, so daß man auf diese Weise eine große Zahl von Unterbrechungen in der Sekunde erzielt. Der in der Sekundärspule entstehende Strom ist übrigens kein reiner Wechselstrom, wie man zunächst vermuten sollte. Es entstehen nämlich durch das Schließen und Unterbrechen des Stromes auch in der Primärspule entsprechende Induktionsströme durch „Selbstinduktion", die man Extraströme nennt. Diese Ströme haben beim Unterbrechen des Primärstromes gleiche Richtung mit diesem, er wird verstärkt (man beobachtet den kräftigen Unterbrechungsfunken), dagegen entgegengesetzte Richtung zum Schließungsstrom — dieser wird geschwächt. Die natürliche Folge ist, daß der Öffnungsstrom vorwiegend die Sekundärwicklung des Ruhmkorffs induziert, ja so stark, daß der Schließungsstrom so gut wie gar nicht in Betracht kommt. Als Resultat erhalten

wir daher einen Strom, der immer gleiche Richtung beibehält, aber den Unterbrechungen entsprechend, immerfort von seiner maximalen Stärke auf Null herabsinkt, wieder ansteigt usw. Derartige Ströme nennt man intermittierende Ströme.

Während bis noch vor wenigen Jahren der Ruhmkorffsche Apparat vorwiegend zu wissenschaftlichen Zwecken benutzt wurde, leistet er heute die wertvollsten Dienste im praktischen Leben und eine der interessantesten Anwendung findet er wohl bei den

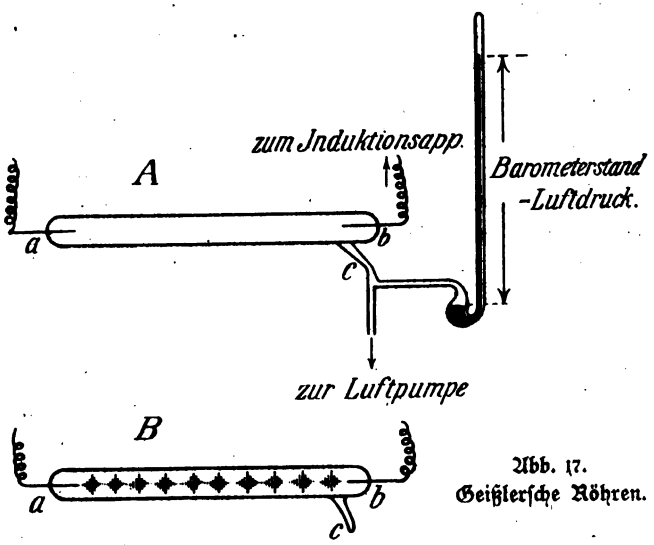


Abb. 17.
Geißlersche Röhren.

Röntgenstrahlen, sowie neuerdings in der drahtlosen Telegraphie. Ohne allzuweit auszuholen, können wir nach dem Besprochenen uns das Wesen dieser eigentümlichen Strahlen vor Augen führen. Wir nehmen einen Induktionsapparat zur Hand, der die Fähigkeit besitzt, mittels einer Stromquelle von ca. 18 Volt Spannung, einen Funken von etwa 15 cm Länge — von 15 cm Schlagweite — zu erzeugen. Wenn wir den knatternden Funkenstrom beobachten, können wir uns fragen: was wird aus diesem, wenn wir das Medium, in dem er sich bewegt, die Luft, entfernen? Führen wir den Versuch aus. Zu diesem Zwecke stellen wir uns aus Glas eine Röhre her von etwa 20 cm Länge und 2 cm Weite. An die beiden Enden, bei a und b, Abb. 17 A, sind zwei Platin-

drähte eingeschmolzen, die man mit der Sekundärspule des Induktionsapparates verbinden kann, so daß nunmehr der Strom durch das Innere der Glasröhre hindurch geht. Die beiden Einführungsdrähte nennt man auch hier Elektroden und bezeichnet wieder diejenige, wo der Strom eingeleitet wird als Anode und die andere als Kathode. Wir können die Röhre vermittels des Stutzens c mit einer Luftpumpe verbinden und so die Luft immer mehr und mehr auspumpen. Nun wird bekanntlich der Luftdruck mit dem Barometer gemessen, man spricht von einem Normaldruck oder normalen Barometerstand und will damit sagen, daß der normale Luftdruck (in Meereshöhe) imstande ist einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe das Gleichgewicht zu halten (eine Atmosphäre). Die Luftpumpe, und damit auch die Glasröhre, ist mit einem Barometerrohr verbunden und wir können daran den im Innern herrschenden Druck erkennen. Wir pumpen aus und beobachten, wie rechts das Quecksilber des Barometers sinkt, wobei wir gleichzeitig den Strom des Induktors durch die Röhre zu senden versuchen. Allein, wir erblicken zuvörderst nichts. Das Barometer sinkt indessen mehr und mehr, jetzt zeigt es einen Druck von 20 mm, noch immer keine Erscheinung — jetzt aber, bei 10 — 9 — 8 mm Druck sehen wir deutlich, wie schlangenförmig ein rötlich-violettes Lichtband von Elektrode zu Elektrode sich erstreckt. Wir pumpen weiter aus, der Druck beträgt jetzt 3 bis 2 mm, und nun sehen wir kein ununterbrochenes Band mehr, sondern ein flimmerndes Glimmlicht, das schichtenweise den innern Raum der Röhre erfüllt. (Abb. 17 B.)

Ist schon diese Erscheinung äußerst glanzvoll, so wirkt sie geradezu überraschend schön, wenn man den inneren Raum mit Unterabteilungen versieht und dann verschiedene Gase, wie Wasserstoff, Sauerstoff, Chlor usw. einführt. Solche Röhren, die auf das geschickteste aus einer Anzahl verschiedenfarbiger und ineinander verschlungener Röhrchen von Geißler in Bonn zum ersten Male konstruiert sind, werden auch nach ihm allgemein Geißlerröhren genannt.

Außer für wissenschaftliche Zwecke, sind die Geißlerschen Röhren praktisch nicht von Bedeutung. Lassen wir aber eine solche Röhre an der Luftpumpe und entfernen die Luft noch mehr, verringern also den Druck auf Bruchteile von mm, auf hundertstel, ja tausendstel mm, so können wir an ihr jene berühmten Er-

scheinungen der Röntgenstrahlen wahrnehmen. Zunächst nämlich, bei einer Druckabnahme unter 1 mm verschwindet jene Lichterscheinung mit ihrer Farbenpracht, sie tritt allmählich von der Kathode zurück, das Lichtband wird kleiner und kleiner, bis zuletzt auch die Anode in Dunkel eingehüllt ist. Aber an seine Stelle tritt etwas anderes. Bald erblickt man ein grünbläuliches Schimmern an der Innenseite der Glaswand: es sind Kathodenstrahlen. Aber so sehr wir auch im Anfange enttäuscht sind beim Anblick dieses nüchternen Glimmlichtes, nach all dem, was wir vorher gesehen, so werden sogar noch die Erscheinungen der Geißlerröhren in den Schatten gestellt, sobald wir gewisse Körper in den Gang der Strahlen in das Innere der Röhre bringen. Jene Strahlen nämlich, die Kathodenstrahlen — sogenannt, weil sie von der Kathode ausgehen — haben die Eigenschaft, Phosphoreszenz zu erregen, d. h. dort, wo sie auftreffen, jene eigentümliche Lichterscheinung hervorzurufen, die wir beim Phosphor, beim Glühwürmchen, beim Meeresleuchten, beim faulenden Holze usw. wahrnehmen können. Daher leuchtet die Glaswand grünlich auf, und treffen die Strahlen andere Körper, z. B. Mineralien, so hat man je nach der Natur der letzteren eine herrliche Lichterscheinung: der ganze Körper scheint zu glühen, und man erblickt ein Schillern, ein Schimmern und Flimmern, als ob die ganze Oberfläche mit Tausenden der prachtvollsten Brillanten übersät wäre.

Man hat versucht, diese Lumineszenzerscheinungen zur praktischen Beleuchtung heranzuziehen, und namentlich hat Nicola Tesla vermittels einer eigentümlichen Transformation des elektrischen Stromes die wunderbarsten Erscheinungen damit hervorgerufen. Röhren, wie die eben beschriebenen, leuchten hell auf, wenn sie nur in die Nähe der Erregerstelle der vorhin genannten Ströme gebracht werden, ohne daß überhaupt eine Verbindung mit Drähten nötig wäre. Allein, all diese Erscheinungen haben noch zu sehr den Charakter des Glimmlichtes, als daß sie praktisch dienstbar gemacht werden könnten, obwohl der Verbrauch an elektrischer Energie bedeutend geringer ist — für die gleiche Helligkeit — als bei den heutzutage benutzten Beleuchtungskörpern.

Eine überaus wichtige und für die Praxis höchst bedeutungsvolle Folge hatte das Erscheinen der Kathodenstrahlen, als Röntgen im Jahre 1896 die Entdeckung machte, daß auch außerhalb der Röhre Strahlen, die er x-Strahlen nannte, vorhanden waren,

und die außerordentlich merkwürdige Eigenschaften besitzen. Das merkwürdigste und praktisch wichtigste dieser x- oder Röntgenstrahlen ist ihre Eigenschaft, durch die für das Auge undurchsichtige Gegenstände hindurch zu gehen. Allerdings sind die Strahlen als solche nicht sichtbar; man erkennt ihre Wirkung aber sofort, wenn man in ihren Bereich einen Schirm aus Pappdeckel hineinbringt, der auf einer Seite mit einer Schicht von Barium Platincyanür, die stark phosphoreszenzfähig ist, bestrichen ist: sofort leuchtet der Schirm hell auf (man blickt dabei gegen die Schicht). Bringt man dann zwischen Röntgenröhre und den Schirm

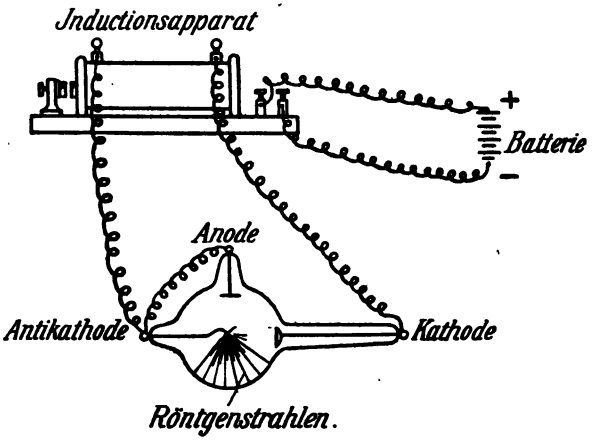


Abb. 18. Anordnung einer Röntgeneinrichtung.

die Hand, so sieht man ein scharfes Bild des Knochenbaues, indem die Strahlen die Haut und Fleischteile durchdringen, nur schwache Umrisse erkennen lassen, bei den Knochen dagegen je nach Dichte und Beschaffenheit mehr oder weniger Widerstand finden, so daß diese dunkel auf hellem Grunde erscheinen. Bringt man dicke Holzklötze, in die man eiserne Nägel geschlagen hat, hinter den Schirm, so hat man den Eindruck, als seien die Nägel in einen Glasblock eingeblasen. Kurz, man kann eine Unmenge der wunderbarsten Dinge mit den Röntgenstrahlen zeigen, Gegenstände dort erblicken, wo sie sonst dem Auge entzogen sind, und, da diese Strahlen ebenso wie das Licht, photographische Wirkungen hervorrufen, so kann man verborgene Gegenstände, etwa eine

verschluckte Nadel, ohne weiteres photographieren. Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, das die x-Strahlen der medizinischen Wissenschaft die wertvollsten Dienste leisten.

Zum Schlusses dieses Abschnittes führen wir uns die Anordnung einer ganzen Röntgeneinrichtung vor Augen (Abb. 18).

Eine Batterie von etwa 18 Volt Spannung setzt den Induktionsapparat in Betrieb. Wir führen die Enden der Sekundärspule zu Kathode und Anode (Antikathode) und richten mit einem Stromwender den Strom so, daß der untere Teil der Röhre hell aufleuchtet. Die von der Kathode ausgehenden Strahlen treffen auf einen Metallspiegel, die sogenannte Antikathode, die dann die Strahlen voll auf die untere Halbkugel der Röhre reflektiert, wodurch die Wirkung am kräftigsten wird; die Anode ist mit der Antikathode verbunden.

Die Dynamomaschine.

Eine weitere praktische Anwendung der Induktionserscheinungen, für die eigentliche Technik bedeutend wichtiger, als die vorhin besprochene, ist diejenige, die dazu führt, direkt einen elektrischen Strom zu erzeugen. Das Prinzip der Stromerzeugung ist uns bereits bekannt, jetzt gilt es zu besprechen, wie dieses in sinnreicher Weise ausgearbeitet wurde, um vermittels einer Ma-

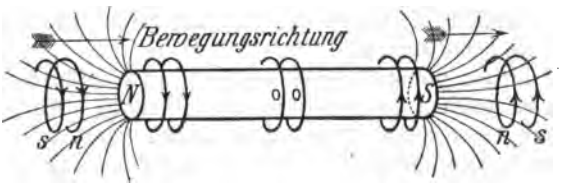


Abb. 19. Entstehung eines Stromes in der Spule beim Schneiden von Kraftlinien.

schine, der Dynamomaschine, einen ununterbrochenen Strom zu erzeugen, wobei wir direkt zu jenem Falle übergehen, auf dem die Wirkungsweise aller modernen Dynamomaschinen beruht.

Wenn wir uns, wie in Abb. 19 angedeutet, mit einigen Drahtwindungen, dem Nordpol des Stahlmagneten NS nähern, so wird, da wir dabei die vom Pol ausgehenden Kraftlinien schneiden, nach dem Lenzschen Gesetz ein Strom in diesem Leiter entstehen. Welche Richtung hat dieser Strom? Das ist leicht zu erkennen.

Jedenfalls müssen wir zur Erzeugung des Stromes Arbeit leisten, und sobald dieser zustande kommt, stellt unsere Drahtspule einen Elektromagneten dar, hat mithin auch einen Nord- und Südpol ns. Da aber gleichnamige Pole sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen, so folgt, daß in der Spule bei der Annäherung ein Strom fließen muß, der vorne einen Nordpol (n) erzeugt, denn wäre es umgekehrt, so würde Anziehung erfolgen, wir würden Arbeit gewinnen und dies widerspricht einem der wichtigsten Naturgesetze: dem Gesetz von der Erhaltung der Energie.

Der Strom fließt also, die Spule von vorne betrachtet, im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers. Diese Stromrichtung wird nicht geändert, wenn wir uns über den Nordpol hinausbewegen, denn jetzt müssen wir anziehende Kräfte überwinden, die ja auch tatsächlich zwischen dem hinteren Teil der Spule, dem Südpol, und dem Nordpol des Stabmagneten bestehen. Bewegen wir die Spule bis zur Mitte, so wird der Strom schwächer, denn die induzierende Ursache, die Kraftlinienzahl, vermindert sich. Passieren wir die Mitte, so kehrt der Strom seine Richtung um, da wir nun die entgegengesetzten Verhältnisse haben, wie beim Beginn der Bewegung. Auf diese Weise kann man, durch fortgesetztes Hin- und Herbewegen der Spule in der Tat einen Strom erzeugen, die Art der Erzeugung aber ist, wie man sieht, äußerst umständlich und für praktische Zwecke unbrauchbar. Sehen wir jetzt, wie sinnreich die Praxis die hin- und hergehende Bewegung in eine rotierende umsetzt.

Wir biegen zunächst den Magneten halbkreisförmig um und legen einen zweiten von gleicher Beschaffenheit derart an den ersten, daß die gleichen Pole sich berühren (Abb. 20). Diesen Ring können wir auf zwei Rollen r r lagern, so daß er sich um seinen Mittelpunkt drehen läßt. Oben befindet sich eine Drahtspule irgendwie am Gestell befestigt, durch ihre Öffnung kann der Magnetring frei hindurch schlüpfen. Die Enden der Spule führen zu einem Galvanometer. Sowie wir dann eine Drehung des Ringes vornehmen, gibt die Nadel des Galvanometers einen Ausschlag, und zwar, je nachdem der Nord- oder Südpol die Spule passiert, nach rechts oder nach links. Man erkennt sofort, daß ein ununterbrochenes Drehen des Ringes einen ununterbrochenen Strom liefern muß, den wir den Enden der Spule entnehmen, und wie man weiter sieht, ist der erzeugte Strom ein Wechselstrom.

Hier haben wir uns das Prinzip der Dynamomaschine vor Augen geführt, allein, diese Anordnung ist keineswegs geeignet, praktisch verwertet zu werden. Man kann aus leicht ersichtlichen Gründen weder den Magneten, noch die Spule, mit einer festen Achse versehen, derartig, daß sich ersterer beständig durch die Spule, oder diese ohne Unterbrechung, um den Magneten bewegen könnte. Eine feste Drehachse aber ist im Interesse der Betriebs-

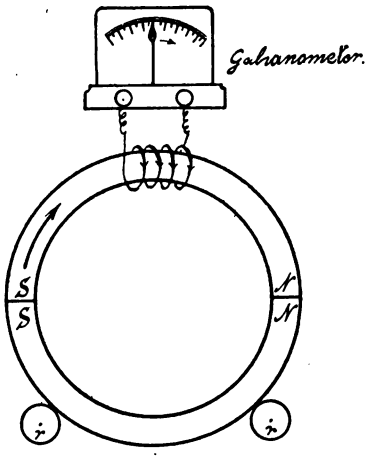


Abb. 20. Entstehung von Wechselstrom durch Rotation eines Ringmagneten.

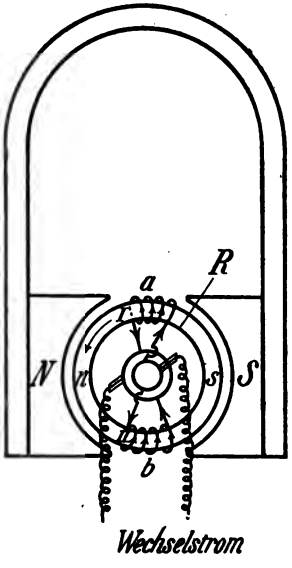


Abb. 21. Wechselstrommaschine.

sicherheit, sowie auch der Einfachheit des Antriebs wegen, eine unerläßliche Bedingung; wie diese erfüllt wird, sehen wir an Abb. 21.

Unsere Spule umfaßt nicht lose einen Magneten, sondern sie ist fest um den eisernen Ring R gewickelt, der vermittels Speichen auf einer festen Achse sitzt. Der Eisenring dreht sich in einem Magnetfelde, das von einem kräftigen Stahlmagneten geliefert wird, dessen Pole mit sogenannten Polschuhen versehen sind, die den Eisenkern zum großen Teil einschließen, so daß dieser in das Magnetfeld eingebettet ist. Dadurch erhält er zwei kräftige Pole n und s, die wie der Versuch bestätigt, an der-

selben Stelle des Raumes, also zwischen N und S bestehen bleiben, mag der Ring sich nun drehen oder nicht. Bei einer Drehung wird daher die Spule I ebenso wie II, die Pole n und s genau so passieren, wie bei dem in Abb. 20 besprochenen Falle, wobei man aber ein festes, solides System hat.

Damit man nun den erzeugten Strom dem rotierenden Teil der Maschine, dem Anker, entnehmen kann, befinden sich auf der Achse zwei voneinander, durch eine isolierende, d. h. nicht leitende, Zwischenschicht getrennte Schleifringe. Jeder dieser Ringe ist mit je einem Ende der Spule verbunden; läßt man dann zwei Kupferbürsten auf den Ringen schleifen, die man mit der äußeren Leitung verbindet, so kann man jederzeit Strom entnehmen.

Bei der praktischen Ausführung wickelt man nicht eine, sondern eine ganze Anzahl von Spulen auf den Anker, wodurch die Wirkung im selben Maße vergrößert wird. Die Verbindung muß dann, wie in Abb. 21 für zwei Spulen, I und II gezeigt, so erfolgen, daß sich die Ströme auch wirklich summieren, sie also zum gleichen Schleifring hin- resp. abfließen. Der erzeugte Strom ist ein Wechselstrom; wenn es nun auch für manche Zwecke durchaus gleichgültig ist, ob man Wechsel- oder Gleichstrom hat, z. B. zum Betreiben von Glühlampen, so ist es doch ebenso oft erwünscht und sogar häufig notwendig, über Gleichstrom zu verfügen. Dieser läßt sich nun mit Hilfe gewisser mechanischer Hilfsmittel, der Stromwender oder Kommutatoren, aus jeder Wechselstrommaschine entnehmen, wozu allerdings die Verhältnisse auf dem Anker etwas komplizierter werden. Um sie uns vor Augen zu führen, betrachten wir das Schema in Abb. 22 A.

Sämtliche Stromspulen des Ankers, der in unserem Beispiel ein sogenannter Grammescher Ring ist, werden bei einer Rotation desselben von einem Strome durchflossen, und zwar, wie wir wissen, auf der rechten Hälfte von einem entgegengesetzt gerichteten, wie auf der linken, was durch die kleinen Pfeile angedeutet ist. Die Summe der in jeder Windung induzierten Ströme bildet in jeder Ringhälfte einen Strom, der in der Richtung der großen äußeren Pfeile fließend, von b ausgehend, sich in a vereinigt. Dort, in der sogenannten neutralen Zone müßte also in jedem Zeitmoment der Strom entnommen werden, was dadurch geschehen könnte, daß kleine Bürstchen aus Kupferdraht außen auf den nicht umsponnenen Drähten während der Drehung aufschleifen. Praktisch läßt sich aber eine solche Anordnung nicht

gut ausführen, weshalb man auf die Ankerwelle einen, wie oben erwähnten Kommutator, auch Sammler oder Kollektor genannt, aufsetzt. Dieser Kommutator, ein äußerst wichtiges Element bei jeder Gleichstrommaschine, hat die in Abb. 22 B gezeichnete Einrichtung. Dort sind der Einfachheit halber vier Spulen angenommen. Der Anfang einer vorhergehenden ist jedesmal mit dem Ende der nachfolgenden verbunden, die gemeinsame Leitung führt dann zu einem auf der Achse isoliert angebrachten Kupferstück, welches man Lamelle nennt. Bei dem hier besprochenen Ringanker sind, wie ersichtlich, ebensoviel Lamellen als Spulen vorhanden, was bei großen Maschinen oft mehrere Hundert ausmacht.

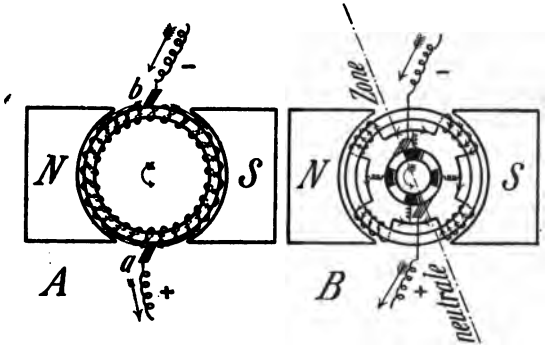


Abb. 22. Schema zur Gleichstrommaschine. Praktische Ausführung.

Durch die beschriebene Einrichtung hat man an der Wicklung der Maschine nichts geändert; die Bürsten müssen natürlich da auf dem Komutator aufliegen, wo die Ströme der beiden Ankerhälften sich vereinigen, also in der Richtung der neutralen Zone. Diese liegt übrigens nicht genau systematisch zwischen den Polschuhen, sondern verschiebt sich etwas im Sinne der Drehrichtung des Ankers, die richtige Stellung der Bürsten erkennt man daran, daß sich an der Auflagestelle möglichst wenig Funken bilden.

Es gibt nun eine ganze Reihe verschiedener Ausführungen solcher Anker, teils in bezug auf die Wicklung, teils in bezug auf die Ausdehnung des Ringes selbst. So wird häufig die Wicklung in entsprechende Nuten (Nutenanker), die sich auf dem Anker befinden, hineingelegt, oft aber wird diese auch über den Kern des Ankers direkt herumgewunden. Zuweilen bildet man den

Anker länglich aus und hat dann im Gegensatz zu dem eigentlichen Grammeschen Ring den Trommelanker, oder er erhält die umgekehrte Form, wie bei den Schuckertschen Maschinen, die Form eines flachen Ringes, der sehr schmal ist, aber einen großen Durchmesser besitzt und sich zwischen den Polschuhen hindurch bewegt.

Um die Wirkung einer Dynamomaschine noch zu verstärken, begnügt man sich in der Praxis häufig nicht mit einem Polpaare, in dessen Feld der Anker rotiert, sondern man wendet je nach der Größe 4, 6 8 usw. Pole an und spricht dann von mehrpoligen Maschinen. Es ist klar, daß dadurch die Leistungsfähigkeit einer Dynamc im gleichen Maße vergrößert wird.

Wir haben bisher angenommen, daß der Magnetismus einer Stromerzeugungsmaschine durch Stahlmagnete geliefert wird; in der ersten Zeit hat man auch ausschließlich dieses Mittel angewandt und die Wirkung dadurch zu verstärken gesucht, daß man eine große Anzahl von Magneten einbaute. Eine derartige Anordnung ist aber außerordentlich kostspielig, wobei noch die unangenehme Eigenschaft der Stahlmagnete hinzukommt, mit der Zeit den Magnetismus zu verlieren. Nun wissen wir aus früheren Experimenten, daß man mit einem Elektromagneten bei gleicher Größe eine viel stärkere Wirkung erzielen kann, als mit einem Stalmagneten. Allerdings muß man, um erstere zu erregen, zunächst einen entsprechenden Strom haben, wobei es doch in unserem Falle sehr umständlich wäre, galvanische Elemente anzuwenden, oder, was man Anfangs wohl versuchte, eine kleine magnetelektrische Maschine[1]) gleichzeitig mit einer Dynamomaschine anzutreiben, wobei jene den Erregerstrom lieferte. Es war daher eine Entdeckung von grundlegender Bedeutung, als Werner von Siemens das „Elektrodynamische Prinzip" aufstellte und damit bewies, daß jede Maschine mit Magnetwicklung sich selbst erregen kann. Man kann nämlich, wie das Schema in Abb. 23 I, zeigt, den zu liefernden Strom, anstatt ihn direkt in den äußeren Stromkreis zu führen, erst die Magnetwicklung passieren lassen, die dabei einen kleinen Widerstand besitzen, also aus dickem Drahte hergestellt sein muß.

Man fragt aber unwillkürlich: wo kommt denn der Strom

[1]) So nennt man diejenige, die ihren Magnetismus durch Stahlmagnete erhält, im Gegensatz zur elektromagnetischen oder Dynamomaschine, die durch Magnetspulen erregt wird.

anfangs aus der unmagnetischen Maschine her? Die Maschine ist eben nicht völlig unmagnetisch; wie Werner von Siemens zeigte, besitzt das Magneteisen, zumal wenn einmal ein Strom die Magnete umflossen hatte, noch gewisse Spuren von „remanentem Magnetismus, der so schwach er auch sein mag, doch ausreicht, einen, wenn auch nur sehr minimalen Strom im Anker zu erzeugen. Dieser aber, da er (Abb. 23 I) die Magnetschenkel

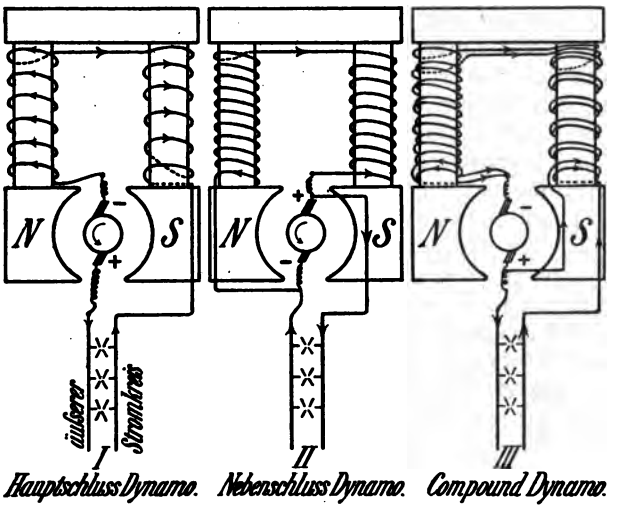


Abb. 23. Wicklungsschema von Gleichstrommaschinen.

passiert, verstärkt den anfänglich vorhandenen Magnetismus, was zur Folge hat, daß im selben Moment im Anker ein stärkerer Strom entsteht; man sieht, daß das Spiel so fortschreitet: es wird ein Punkt kommen, wo der Eigenstrom der Maschine diese voll erregt hat, nämlich dann, wenn das Eisen derselben mit Magnetismus gesättigt ist.

Die Abb. 23 I zeigt uns, daß die Maschine nur dann ihren vollen Magnetismus besitzt, wenn der äußere Stromkreis geschlossen ist, wenn etwa eine Anzahl Lampen eingeschaltet ist, und man sieht ohne weiteres, daß die Erregung der Maschine und aus demselben Grunde auch die Spannung derselben von den äußeren Bedingungen abhängt: brennen viele Lampen, dann ist

der Strom stark und damit auch die induzierende Wirkung, die Klemmspannung wächst, so daß unsere Glühlampen, die für eine bestimmte Spannung konstruiert sind, unregelmäßig brennen würden, wenn nicht besondere Reguliervorrichtungen angebracht wären. Man kann diesem Übelstand auch begegnen durch eine Schaltung, wie sie in Abb. 23 II veranschaulicht ist. Dort ist ein sogenannter Nebenschluß in der Weise eingerichtet, daß man an der Stelle, wo der Strom dem Anker entnommen wird, eine Leitung abzweigt und diese dann in vielen Windungen dünnen Drahtes in der entsprechenden Weise um die Schenkel der Magnete wickelt. Hierbei wird natürlich wegen des großen Widerstandes, den die beträchtliche Länge der Leitung besitzt, nur ein geringer Teil des Hauptstromes zur Erregung benutzt, und doch hat man eine kräftige Magnetwirkung, da die Stärke eines Elektromagneten abhängt von dem Produkt aus Stromstärke und der Anzahl der Windungen. War bei der zuerst besprochenen Maschine, der Hauptschlußmaschine, die Zahl der Windungen gering, so floß doch ein starker Strom, der Hauptstrom, durch sie hindurch, und haben wir im zweiten Falle, bei der Nebenschlußmaschine geringe Stromstärke, so ist dort die Zahl der Windungen im selben Verhältnis vergrößert. Es leuchtet ein, daß die Nebenschlußmaschine sich sofort beim Jngangsetzen erregt; der Magnetismus der Magnete würde derselbe bleiben, wenn die Klemmenspannung der Maschine sich gleich bliebe. Das ist indessen nicht der Fall, denn je mehr Strom wir dem äußeren Stromkreise zuführen, um so fühlbarer wird der Widerstand im Anker der Maschine, so daß der Strom, ehe er aus dem Anker zu den Klemmen gelangt, in bezug auf seine Spannung eine Schwächung erfahren hat, einen Spannungsverlust, der nach dem Ohmschen Gesetz: Spannungsverlust = Stromstärke × Widerstand im Anker mit der Stromstärke zunimmt. Wir sehen hieraus, daß wir wohl unterscheiden müssen zwischen der im Anker entstehenden „elektromotorischen Kraft" und der Klemmspannung der Maschine, die wie überhaupt bei jeder Stromquelle stets kleiner ist — bei Stromabgabe — wie die erstere. Jst aber die Klemmspannung klein, so folgt wieder aus dem Ohmschen Gesetz, daß der Erregerstrom und damit auch der Magnetismus schwächer wird, und endlich überhaupt die Spannung der Maschine sinkt. Während also bei der Hauptschlußmaschine im allgemeinen ein starker Strom im Außenkreise durch die dadurch

bedingte stärkere Erregung der Magnete ein Anwachsen der Spannung zur Folge hat, haben wir bei der Nebenschlußmaschine gerade das Umgekehrte. Beide Erscheinungen sind aber für Lichtversorgung sehr störend, so daß man danach trachtete, diesem Übelstande durch passende Vereinigung der beiden extremen Fälle abzuhelfen. Es gelang dies auch in der Tat sehr gut, durch Anwendung einer doppelten Magnetentwicklung, woraus die sogenannte Verbund- oder Kompoundmaschine entstand. Die An-

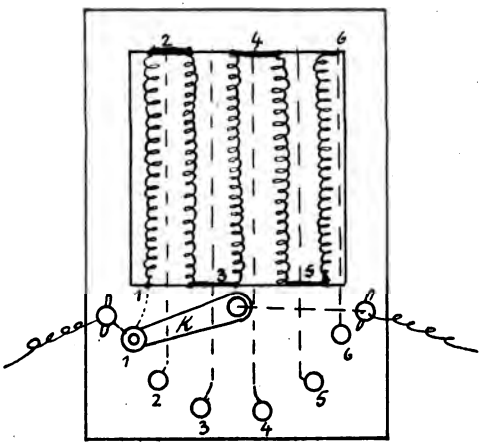


Abb. 24. Regulierwiderstand.

ordnung ist aus Abb. 23 III ersichtlich, wir haben teils Hauptschluß, teils Nebenschlußwicklung, also gewissermaßen die beiden Maschinentypen miteinander vereinigt und dadurch auch bewirkt, daß sich die Nachteile beider innerhalb gewisser Grenzen aufheben.

Eine sehr wichtige Rolle spielen übrigens bei der Stromregulierung in Wissenschaft und Technik die sogenannten Widerstände auch Rheostaten genannt, deren Besprechung wir hier noch anschließen wollen. Man versteht darunter Leiter, die den Strom nicht gut zu führen vermögen und die man absichtlich in die Leitung einschaltet, um ein zu starkes Anwachsen des Stromes zu verhindern. Je nach dem beabsichtigten Zwecke, wird ein vorzuschaltender Widerstand groß oder klein sein müssen, oft will man ihn auch momentan verändern können, so daß eine entsprechende Regulievorrichtung nötig wird. Die gebräuchlichste

Form eines solchen Widerstandes ist in Abb. 24 dargestellt. Auf einem Rahmen sind die Widerstandsdrähte, gewöhnlich aus Nickel oder Neusilber, in Form von Spiralen aufgewunden. Die Punkte 1 bis 6 sind mit entsprechenden Metallknöpfen 1 bis 6 verbunden, die auf einem Kreise angeordnet sind, in dessen Mittelpunkt der Schleifhebel K drehbar gelagert ist. An seinem Hebelende trägt der Schleifkontakt Federn, die auf die Knöpfe drücken, also eine leitende Verbindung der Mitte mit je einem Knopf darstellen. Die Wirkungsweise ist nun die: Der Drehpunkt des Hebels ist mit einer Klemme verbunden, an die man die Leitung anschließt. Die andere Klemme ist verbunden mit Knopf 1. In dieser Stellung ist aber kein Widerstand eingeschaltet. Bewegt man aber den Hebel auf 2, 3 usw., so schaltet man dadurch

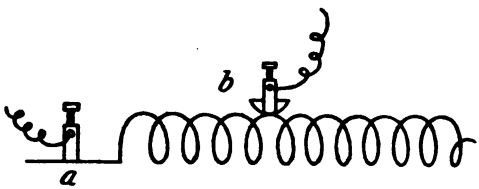


Abb. 25. Schiebewiderstand.

jedesmal eine Widerstandsspirale ein, bis man zu 6 gelangt, wo sämtliche Drähte eingeschaltet sind.

Eine feinere Einstellung gestattet der Schiebewiderstand, der im Laboratorium vielfach benutzt wird, dessen Prinzip die Abb. 25 veranschaulichen soll. Eine Spirale aus Widerstandsdraht ist schraubenförmig um einen Kern aus Schiefer oder Porzellan herumgewickelt. Eine Klemme, a, ist mit einem Ende der Spirale verbunden, die zweite Klemme, b, sitzt auf einem Schlitten, der sich in der Längsachse des Kerns verschieben läßt. Durch diese Verschiebung wird jedesmal ein Schraubengang ein- oder ausgeschaltet.

Zum Regulieren von Dynamomaschinen und Motoren benutzt man, wenn es sich um Wechselstrom handelt, Flüssigkeitswiderstände. Der Grund hierfür ist der, daß außer dem Ohmschen Widerstand durch das Einschalten von Drahtspiralen ein weiterer Widerstand hinzukommt, der seine Ursache in den Induktionserscheinungen hat. Es entstehen nämlich in solchen Leitern Extraströme, die wir ja schon kennen lernten (Seite 30), und diese können so energisch auftreten, daß ein durchgehender Wechsel-

ſtrom ganz erhebliche Verluſte erleidet. (Vergl. Droſſelſpule, Seite 52.) Bei Flüſſigkeiten treten dieſe Störungen nicht auf, und die Ausführung entſprechender Widerſtände iſt ſehr einfach: man taucht die Drähte, zwiſchen die der Widerſtand zu ſchalten iſt, in ein Bad ſchlecht leitender Subſtanz und reguliert, indem man die Enden mehr oder weniger hineinſenkt. Da es ſich um Wechſelſtrom handelt, ſo ſind ſtörende Polariſationserſcheinungen (Seite 14) ausgeſchloſſen: was der Strom in einer Richtung bilden würde, vernichtet im nächſten Augenblick der entgegengeſetzt gerichtete.

4. Kapitel.

Anwendung des elektrischen Stromes zur Kraftübertragung, der Elektromotor.

Als man die ersten Versuche machte — etwa um die Mitte des vorigen Jahrhunderts — den elektrischen Strom zur direkten Arbeitsleistung heranzuziehen, ahnte man wohl nicht, daß der Elektromotor dereinst das Ideal einer Kraftmaschine werden würde. Freilich war dazu auch noch kein Grund vorhanden. Die zunächst ihrem Äußern nach, wie auch in bezug auf die Art der Kraftübertragung, dem Dampfmotor nachgebildeten kleinen Maschinchen leisteten so gut wie gar nichts. Allerdings konnte man ihre Wirkung verstärken, wenn man ihnen größere Abmessungen gab, gelangte dabei aber zu Maschinen, die in ihrer Herstellung äußerst teuer waren und sich als wahre Stromfresser erwiesen. Das Prinzip, das allen jenen Maschinen zugrunde lag, war kurz das folgende. Wir denken uns einen doppelarmigen Hebel, der einerseits mit einem Eisenstück versehen ist, anderseits vermittels einer Stange an die Kurbel eines senkrecht darunter befindlichen Schwungrades angreift, und dessen Mitte um einen festen Punkt drehbar ist. Unter dem Eisenstück befindet sich ein Elektromagnet, der durch einen Strom erregt, das Eisenstück anzieht und die Kraft auf die Kurbel überträgt. Wenn diese sich der obersten Stelle nähert, muß der Strom solange unterbrochen werden, bis sie durch die Kraft des Schwungrades wieder in ihre frühere Lage gelangt ist; jetzt wird der Strom wieder eingeschaltet und das Spiel beginnt von neuem. Das Ein- und Ausschalten des Stromes besorgt die Maschine selbst durch einen auf der Welle befindlichen Unterbrecher.

Die großen Mängel einer derartigen Ausführung werden wir so recht erkennen, wenn wir uns den Elektromotor in seiner heutigen Form vor Augen führen. Wir sehen dann, daß es gar

nicht nötig ist, die Kraftwirkung erst durch Hebel und Stangen der Maschinenachse mitzuteilen, sondern daß wir hier direkt das vor uns haben, was man in neuerer Zeit mit der Dampfturbine anstrebt, nämlich eine Kraftäußerung des treibenden Elementes auf das rotierende System selbst. Zum Verständnis betrachten wir die Abb. 26.

Ein Elektromagnet n-s sei in seiner Mitte mittels einer Achse drehbar angeordnet, so daß derselbe in der Pfeilrichtung rotieren kann. Oben und unten besitzt der Magnet eine Verstärkung, die aber so abgedreht ist, daß er sich frei im Innern des Polgehäuses eines kräftigen Elektromagneten N-S bewegen kann. Dem be-

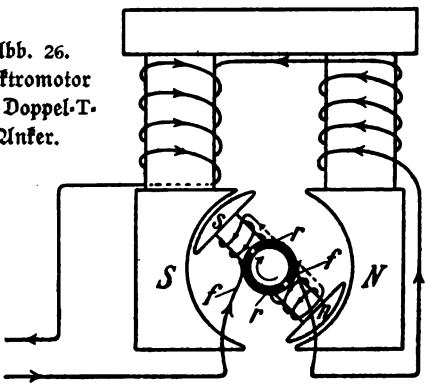


Abb. 26. Elektromotor mit Doppel-T-Anker.

weglichen Magneten, den wir wieder wie früher bei der Dynamomaschine, Anker nennen, kann vermittels der Schleifringe rr und der Federn ff Strom zugeführt werden, der auch zur Erregung der Magnete dient. Bei der in der Abb. angenommenen Stellung entsteht im Anker oben ein Süd-, unten ein Nordpol; beide stehen den gleichnamigen Polen des Magnetgehäuses gegenüber, es bestehen also abstoßende Kräfte, die dem Anker eine Drehung erteilen. Bewegt er sich über die Mittelstellung hinaus, so wirken wiederum Kräfte auf ihn ein, die ihn im gleichen Sinne zu drehen streben. Wenn aber jetzt die N-S-Richtung des Hauptmagneten erreicht ist, wird der Strom unterbrochen und wieder so geschlossen, daß dieser den Anker im nächsten Augenblick im entgegengesetzten Sinne durchläuft, d. h. die Pole n-s wechseln. Dadurch wirken wieder Kräfte im gleichen Drehungssinne auf

den Anker ein, der so in beständige Umdrehung versetzt wird. Der Stromwechsel im Anker geschieht durch die halbkreisförmig gebogenen Schleifstücke r r, die voneinander und von der Welle isoliert auf dieser sitzen und mit Anfang und Ende der Ankerspule verbunden sind. Durch die Federn f f gelangt der Strom, nachdem er die Magnete erregt, wie oben erwähnt, in den Anker.

Gegen die zuerst beschriebene Maschine, die ja eigentlich nur eine Spielerei bedeutet, weist diese schon ganz erhebliche Vorzüge auf. Zunächst ist sie außerordentlich einfach gebaut, die Kraft wirkt direkt auf die Maschinenwelle, wir haben nur zwei Lager, die der Wartung bedürfen, und endlich kann man sie eben dieser Vorzüge halber mit einer hohen Umdrehungszahl (Tourenzahl pro Minute) laufen lassen. Das ist ein wesentlicher Vorteil, denn sie erlaubt uns, den Motor im Vergleich zu seiner Leistung, sehr klein zu bauen, und zwar aus folgendem Grunde. Wir verlangen von der Maschine Arbeit. Nun lehrt uns die Mechanik, daß eine Arbeit von zwei Größen abhängt, nämlich von der Kraft, die zu ihrer Leistung erforderlich ist und von der Länge des Weges, auf dem sie wirkt und zwar haben wir die Beziehung

$$\text{Arbeit} = \text{Kraft} \times \text{Weg}.$$

Diese Beziehung sagt uns, daß wir, um eine bestimmte Arbeit zu leisten, die Kraft groß oder klein wählen können, daß wir nur dafür zu sorgen haben, daß das Produkt rechts seinen Wert beibehält. Ist daher die Kraft klein, so muß der Weg groß sein, ist aber die Kraft groß, dann wird der Weg im selben Verhältnis kleiner. Beim Elektromotor haben wir den ersten Fall. Die Kraft ist jene Wirkung, wie sie zwischen den Polschuhen der Maschine und dem Ankerumfang besteht, der Weg ist jener, den der Angriffspunkt der Kraft beschreibt, also in unserem Falle einer der Punkte am Umfange des Ankers, dessen Weg offenbar gleich ist dem Umfange eines Kreises, auf dem er sich bewegt. Dieser Umfang repräsentiert eine Umdrehung des Ankers und ist die Umdrehungszahl etwa, wie üblich, 2000 in der Minute, so ergibt sich daraus eine beträchtliche Wegstrecke. Daher kann die wirkende Kraft verhältnismäßig sehr klein sein, woraus unmittelbar folgt, daß auch für die Magnete, kurz, für die ganze Maschine ungewöhnlich kleine Dimensionen gewählt werden können.

Unser Beispiel hat uns eine Maschine mit sogenanntem

Doppel-T-Anker vorgeführt; dieselbe ist aber noch sehr verbesserungsfähig. Als einen noch wesentlichen Fehler erkennt man bei dieser Maschine das Vorhandensein des sogenannten „toten Punktes". Man versteht darunter diejenige Stellung des Ankers, bei welcher ihm keinerlei Kraft zugeführt werden kann, und das tritt im vorliegenden Falle dann ein, wenn die Polrichtung des Ankers mit derjenigen der Magnete zusammenfällt. Hat der Anker also zufällig diese Lage, so kann man die Maschine nicht anlaufen lassen ohne sie anzuwerfen, denn der Anker empfängt in diesem Momente, des Polwechsels halber, keinen Strom.

Von diesem Übelstande ist der Motor, wie er heute angewendet wird, frei, und die nähere Betrachtung überzeugt uns direkt von der Tatsache, daß *jede Dynamomaschine als Motor wirkt, wenn man Strom in sie hineinführt.* Zur Erklärung halten wir uns deshalb an die Abb. 22, A und B. Wir ersetzen den Doppel-T-Anker durch einen Grammeschen Ring und denken uns Strom in die Maschine hineingesandt, dann erkennen wir, daß der Ring einen Nord- und Südpol n-s erhält, und ebenso wie der Doppel-T-Anker eine Drehung erhalten muß. Da nun die Bürsten dem Anker während der Drehung an derselben Stelle im Raume immerfort Strom zuführen, so müssen auch die Pole n-s an derselben Stelle bleiben, einerlei ob sich dabei auch das Eisen des Ankers dreht oder nicht, und daraus folgt, daß, welche Stellung auch immer der Anker haben mag, stets eine treibende Kraft vorhanden ist, sofern man Strom in die Maschine hineinschickt.

Welch elegante Lösung hat so das Problem der elektrischen Kraftübertragung gefunden! Man vergleiche die unbeholfenen Maschinen, die ersten Versuche, die wir oben erwähnten, mit ihrem Stangen und Hebelwerk, ihren Zapfen und Drehpunkten, mit jener einfachen und soliden Form, die wir soeben kennen gelernt, Maschinen, die im kleinen Raum außerordentliche Kräfte bergen, die frei vom störenden Geräusch nur durch ein leises Summen ihr Vorhandensein bekunden. Ja, man würde den Elektromotor wohl überall anwenden, wenn man nur die elektrische Energie immer zur Verfügung hätte. Das Herbeischaffen dieser Energie ist freilich noch ein wunder Punkt. Wenn man sie auch mittels des heutigen Übertragungssystems ohne Schwierigkeit viele Kilometer weit versenden kann, so ist ihre Erzeugung doch in den meisten Fällen noch von der Dampfmaschine abhängig, die wir

ja, da sie nur des Heizmaterials bedarf, fast überall aufstellen können, und die daher immer dann den Vorzug findet, wo es sich um eine einzelne Kraftanlage handelt. Wenn es aber darauf ankommt, eine ganze Anzahl von Motoren, Hunderte, ja Tausende innerhalb eines gewissen Bezirkes in Tätigkeit zu setzen, dann lohnt es sich sogar, mittels der Dampfmaschine eine Dynamo anzutreiben und dann deren Strom durch das Leitungsnetz den verschiedenen Kraftmaschinen zuzuführen. Wohl die großartigste Anwendung einer derartigen Kraftversorgung finden wir bei den elektrischen Bahnen. Um dem Bahnmotor den Strom zuzuführen, benutzt man fast ausschließlich die bekannte oberirdische Leitung, gegen die während der Fahrt ein Fangarm schleift, der mit der Maschine leitend verbunden ist, der Strom wird dann weiter durch die Schienen abgeleitet. Der Motor ist äußerst praktisch unmittelbar neben der Achse des Wagens angeordnet und wirkt mittels Zahnradübertragung auf das Schienenrad. Alle empfindlichen Teile sind in einen massiven Kasten staubdicht und gegen Nässe geschützt eingebaut, wobei der Kasten zugleich das Magnetgehäuse bildet.

Der Strom gelangt nicht unmittelbar zum Motor, sondern er passiert erst eine Reihe Drahtwindungen, die den Strom schlecht leiten, sogenannte Widerstände, wie wir sie bereits auf Seite 43 kennen lernten, er wird also durch sie gewissermaßen zurückgedämmt. Soll der Wagen schneller fahren oder Steigungen überwinden, so muß mehr Strom zum Motor gelangen können, es muß mehr und mehr Widerstand ausgeschaltet werden, was der Wagenführer durch Drehen einer Kurbel bewirkt. Mit dieser Kurbel kann auch die elektrische Bremse angestellt werden, die auf jener Eigenschaft des Motors beruht, auch als Dynamo wirken zu können. Durch die dem zu bremsenden Wagen innewohnende Kraft wird der Anker der Maschine angetrieben: man kann ihm Strom entnehmen, der dann durch passende Kurbelstellung in Widerstände hineingeleitet und dort in Wärme umgesetzt wird. Durch die hierbei zu leistende Arbeit findet der Wagen einen erheblichen Widerstand und also auch eine kräftige Bremswirkung.

Um den Wagen rückwärts zu bewegen, wird durch eine entsprechende Kurbelstellung am Führerstande, der Strom in umgekehrter Richtung in den Anker geschickt, während die Magnete ihre Pole beibehalten; ein Blick auf Abb. 26 lehrt, daß dann der Motor umgekehrt laufen muß. —

Bei den bisher besprochenen Elektromotoren haben wir angenommen, daß dieselben mit Gleichstrom betrieben werden. Nicht immer aber hat man einen solchen zur Verfügung; es führt vielmehr recht häufig das Netz, an welches man angeschlossen ist Wechselstrom namentlich da, wo die Übertragung sich auf sehr große Entfernungen erstreckt. Nun kann man allerdings jeden Gleichstrommotor auch mit Wechselstrom laufen lassen, sofern er als Hauptstrommaschine gewickelt ist, denn wenn auch bei Stromwechsel die Magnete umpolarisiert werden, so wird doch gleichzeitig im Anker die Richtung des Stromes entsprechend geändert, wodurch die magnetischen Kräfte stets in demselben Drehungssinn auf den Anker einwirken. Es läßt sich indessen praktisch eine solche Kraftübertragung wegen der eintretenden Verluste nicht durchführen. Diese Verluste haben in folgendem ihren Grund. Die massiven Eisenteile der Magnete werden durch die fortwährende Änderung in der Richtung und Stärke des Stromes nach den Induktionsgesetzen ebenfalls induziert: es entstehen Ströme im Magnetgestelle selbst, die, da man sie nicht ableiten kann, im Innern des Eisens in jeder Richtung hin- und herwirbeln und dabei natürlich eine entsprechende Arbeit leisten müssen, die verloren ist. Die Arbeit dieser *Wirbelströme* auch nach ihrem Entdecker *Foucaultsche* Ströme genannt, äußern sich in Wärme, und zwar so energisch, daß das Eisen der Maschine und diese selbst in kurzer Zeit außerordentlich heiß, und auf längere Zeit benutzt, völlig ruiniert werden würden.

Aus derselben Ursache, dem stetigen Wechsel des Stromes entsteht ein weiterer Verlust, der sich immer da zeigt, wo Wechselstrom eine Spule passiert und den wir deshalb auch des allgemeinen Interesses halber noch besprechen wollen. Wie wir früher bei dem Induktionsapparat sahen, wirkt eine Drahtspule durch die Wechselstrom fließt, auf eine benachbarte „induzierend" ein. Neben dem speziellen Falle, bei welchem die induzierende Wirkung auf eine fremde Spule übertragen wurde, hatten wir auch ganz allgemein die Erscheinung auf den Fall ausgedehnt, wo die benachbarten Windungen Teile ein- und derselben Spule sind; steigt also beim Wechselstrom die Stärke an, so entsteht gleichzeitig in der Spule ein Induktionsstrom durch „*Selbstinduktion*", ein *Extrastrom*, wie wir ihn schon kennen lernten dessen Richtung aber aus uns bekannten Gründen, dem induzierenden Strome entgegengesetzt ist, diesen daher notwendig

schwächen muß. Dieser scheinbare Widerstand oder die Impedanz spielt in der Wechselstromtechnik eine außerordentlich große Rolle; sie kann unter Umständen so stark auftreten, daß ein Wechselstrom überhaupt nicht mehr durch die Spule hindurch kann, zurückgedrosselt wird (Drosselspulen), und man begreift wohl die Notwendigkeit, das Wesen dieser Erscheinung genau zu studieren, damit man in der Lage sei, geeignete Vorkehrungen dagegen zu treffen.

Will man also das Prinzip des Gleichstrommotors auf den Wechselstrommotor übertragen, so muß man die störenden Einflüsse direkt bei dem Bau der Maschine unschädlich machen; das Magnetgestelle darf niemals aus massivem Eisen bestehen, sondern die Schenkel werden aus dünnen Blechen, die voneinander durch Papier getrennt sind, gebildet, so daß die Wirbelströme nicht hindurch können und an ihrem Entstehen gehindert werden. Ferner muß der Einfluß der Selbstinduktion durch passende Wicklung und Kompensationsvorrichtungen möglichst unschädlich gemacht werden.

In neuerer Zeit benutzt man vielfach den sogenannten Drehstrom zur elektrischen Kraftübertragung. Dieser Drehstrom wird erzeugt dadurch, daß man mehrere Wechselströme gleichzeitig zusammen arbeiten läßt. Der Umfang dieses Buches erlaubt nicht, eingehend auf die sehr komplizierten Verhältnisse dieser Stromart einzugehen. Wir wollen uns hier nur merken, daß man durch das Zusammenwirken verschiedener Wechselströme, gewöhnlich dreier, ein Magnetfeld erzeugen kann, das sich um eine Achse herumdreht. Denken wir uns zum Verständnis des Vorganges in Abb. 27 drei Spulenpaare so verteilt, daß die sechs Spulen gleichmäßig auf dem Umfange eines Kreises angeordnet sind. Wird ein solches System mit Drehstrom gespeist, so werden die Magnete nacheinander angeregt.

Der Magnet I bildet $n_1 s_1$; ein Moment später entsteht in II $n_2 s_2$, in III $n_3 s_3$; jetzt wird I, dann II, im nächsten Augenblick III ummagnetisiert und so fort: würde man eine Magnetnadel in m auflegen, so würde diese sich im Sinne des Pfeiles drehen und damit das Vorhandensein des „Drehfeldes" anzeigen.

Was dieser Versuch im kleinen zeigt, läßt sich technisch im großen ausführen; dort bringt man an die Stelle der Magnetnadel einen passend konstruierten Anker, der in seiner einfachsten Form eine Eisentrommel darstellt. Durch das Drehfeld entstehen in

dieser Wirbelströme, denen man aber durch aufgelegte Kupferstücke oder herumgelegte Drähte, die in sich geschlossen sind, eine bestimmte Richtung gibt. Wenn aber in einem Leiter Ströme, also auch Wirbelströme fließen, so besteht zwischen dem Leiter und einem in der Nähe befindlichen Pol eine Kraftwirkung, was zur Folge hat, daß das bewegliche System dieser Einwirkung folgt, also im vorliegenden Falle der Anker sich dreht.

Ein solcher Motor mit „Kurzschlußanker" stellt eine Maschine der einfachsten Art dar. Wir haben keine Schleifringe,

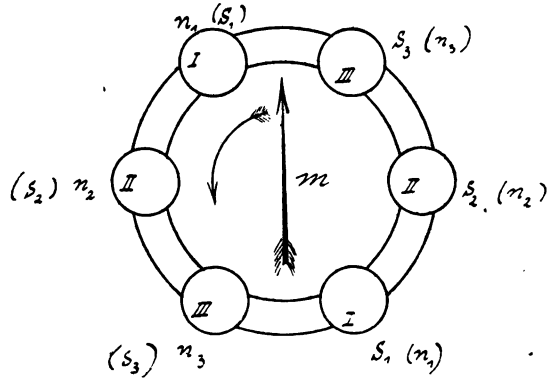


Abb. 27. Schema eines Drehfeldes.

keinen Komutator auf der Ankerwelle nötig: die Kraft wird unmittelbar auf das rotierende System selbst übertragen. Im Kleinbetrieb sind daher auch solche Maschinen, die fast keiner Wartung bedürfen, zahlreich im Gebrauch. Größere Anlagen benötigen allerdings eine Modifikation des Ankers, der Motor wird dadurch etwas komplizierter, ohne übrigens wesentlich höhere Ansprüche an die Wartung zu stellen.

Mit dem Angeführten müssen wir uns begnügen, so interessant auch die Einzelheiten sein mögen, und wir wenden uns zu einem neuen Gegenstand, der elektrischen Beleuchtung.

5. Kapitel.

Anwendung des elektrischen Stromes zu Leuchtzwecken.

Lange bevor man ernstlich daran dachte, den elektrischen Strom zur Ausübung mechanischer Arbeit heranzuziehen, hatte man versucht, die Eigenschaften der Elektrizität zur Lichterzeugung zu benutzen. Freilich konnte die Verwirklichung dieser Idee nicht ohne ernste Arbeit, ohne kostspielige Versuche, verbunden mit mancherlei Enttäuschungen, vor sich gehen, so daß, ähnlich wie wir es früher bei den Maschinen gesehen, die elektrische Beleuchtung nur auf das Laboratorium sich beschränkte. Die Bedingungen aber, die zur praktischen Durchbildung dieses Beleuchtungssystems zu erfüllen waren, konnte dem rastlos arbeitenden Geiste des Menschen nicht verborgen bleiben, wenn auch die Aufgabe keine leichte war. Galt es doch, den kostbaren elektrischen Strom nicht allein so auszunützen, daß mit seiner Verwendung möglichst geringe Verluste verbunden waren, sondern ihn auch mit solchen Leuchtkörpern zu verbinden, die unter den gegebenen Verhältnissen möglichst reich sind an wirklicher Lichtstrahlung. Wie weit man hierin bis heute gekommen und was noch zu verbessern ist, das können wir erst so recht verstehen, wenn wir uns die Eigenschaften des Lichtes etwas näher ansehen.

Die Wissenschaft lehrt uns, und der Augenschein überzeugt uns davon, daß das Licht vom leuchtenden Körper aus geradlinig fortschreitet. Dabei zeigt das nähere Studium, daß es eine wellenförmige Bewegung ausführt, und daß diese Bewegung stattfindet in einem Mittel, oder wie man es in der Wissenschaft nennt, Medium, das mit dem Lichtäther ausgefüllt ist. Nicht die Luft oder die durchsichtigen Körper sind die Träger der schwingenden Bewegung die wir als Licht empfinden, sondern jener Äther, den wir nicht wiegen, nicht durch Widerstand, wie ihn etwa die schwingende Hand in Luft oder Wasser verspürt, wahr-

nehmen können, von dem wir aber gleichwohl annehmen müssen, daß er überall vorhanden, daß er zwischen den kleinsten Teilchen besteht, woraus die Materie gebildet, daß er uns stets umgibt, daß er im Innersten unserer Erde ebenso gegenwärtig ist, wie er den ganzen unendlichen Weltenraum erfüllt, durch den die Sonne ihre Strahlen zu uns sendet.

Wenn der Morgen graut, und die Erde allmählich vom Schlummer erwacht, dann erscheint uns die Umgebung zunächst in schwacher, unbestimmter Beleuchtung. Aber wenn dann jener Himmelskörper, der uns Licht und Wärme bringt, am Firmamente erscheint, dann erkennen wir bestimmte Farben, und je höher er steigt, um so kräftiger und glanzvoller treten diese in die Erscheinung, bis die Natur in ihrer ganzen Farbenpracht uns entgegenleuchtet.

Wir können uns nun fragen: Weshalb erscheint uns dieser Gegenstand grün, jener rot, ein anderer gelb und wieder ein anderer blau usw.? Der Grund zunächst, weshalb wir überhaupt einen Gegenstand sehen, ist der, daß Lichtstrahlen, die auf ihn fallen, nach allen Richtungen, *difus*, zurückgeworfen werden. Dies betrifft aber nur Körper von unebener Oberfläche. Eine ebene, spiegelnde Fläche wirft die einfallenden Strahlen nur nach *einer* Richtung zurück, wir sehen nicht sie, sondern die von ihr wiedergespiegelten Bilder.

Aber nicht *alle* Lichtstrahlen werden zurückgeworfen, *reflektiert*, sondern ein Teil der Strahlen dringt in das Innere des betreffenden Körpers ein, der Körper *absorbiert* die Strahlen. Nun zeigen in bezug auf die Absorption die verschiedenen Körper ein sehr verschiedenes Verhalten. Schicken wir zunächst noch voraus, daß im Lichte der Sonne, unserer gebräuchlichen Lampen, überhaupt aller glühenden festen Körper, Strahlen von allen möglichen Farben vorhanden sind, und daß wir diese Farben nur deshalb nicht ohne weiteres sehen, weil sie, in einem Strahlenbündel durcheinander gemischt, unserem Auge den Eindruck des weißen Lichtes mitteilen. Ein roter Körper hat nun die Eigenschaft, alle Strahlen, die auf ihn fallen zu verschlucken und nur die roten zurückzuwerfen: er erscheint rot. Desgleichen absorbiert ein blauer Körper alle Strahlen mit Ausnahme der blauen, und so geht das fort, für alle Farben. Daraus folgt, daß bei einer Lichtquelle in der eine bestimmte Farbe fehlt, auch nicht alle Gegenstände in ihren natürlichen Farben

erscheinen können. Man achte einmal darauf, wie beispielsweise bei rotem bengalischem Lichte die grünen Blätter schwarz erscheinen; man verbrenne in einer Spiritusflamme einige Körnchen Kochsalz und betrachte Hände und die Gesichter umstehender Personen bei diesem gelben Lichte: sie haben das Ansehen von Leichen, weil eben die belebende rote Farbe des Blutes bei diesem Lichte, das kein Rot enthält, nicht erkennbar wird. Je „weißer" das auffallende Licht ist, um so lebhafter treten uns die Farben entgegen, daher die Regel: Kleiderstoffe nicht bei trübem Lampenlichte aussuchen!

Wenn wir auf diese Weise einen Teil der Farben des Sonnenlichtes oder allgemein des weißen Lichtes erkennen können, können wir eine andere Eigenschaft des Lichtes benutzen, um zugleich sämtliche Farben, die in einem Strahl vermischt sind, zu trennen. Es ist dies die Eigenschaft der Brechbarkeit der Lichtstrahlen. Zur Erklärung dieses Begriffs betrachten wir einen Stab, den wir etwas geneigt gegen die Oberfläche ins Wasser tauchen. Dort, wo der Stab aus dem Wasser heraustritt, erscheint er gebrochen. Die Lichtstrahlen, die von dem im Wasser befindlichen Teil des Stabes in unser Auge gelangen, haben an der Oberfläche des Wassers ihre Richtung geändert, und diese Erscheinung können wir immer da wahrnehmen, wo ein Lichtstrahl aus einem Mittel in ein anderes übergeht, das ein anderes spezifisches Gewicht[1]) hat. Je nachdem dieses bei der einen oder andern Substanz größer oder kleiner ist, spricht man von einem dichteren und dünneren Medium. Zu der ersten Art würden Körper wie Glas, Wasser usw. rechnen, während die Luft und überhaupt durchsichtige Gase zur zweiten Gattung gehören. Nun zeigt sich, daß je nach der Farbe des Lichtes die Strahlen verschieden stark gebrochen werden. Fällt z. B. ein Sonnenstrahl auf eine Glasplatte, also aus einem dünneren in ein dichteres Medium, so wissen wir, daß der Strahl gebrochen wird. Da aber die verschiedenen Farben des Lichtstrahls verschieden stark gebrochen werden, so müssen sich unbedingt die gemischten Strahlen nach ihrem Eintritt in das Glas trennen. Hat man dabei eine Glasplatte mit planparallelen ebenen Flächen, so werden sich die Strahlen nach ihrem Austritt wieder zu weiß mischen, denn um denselben

[1]) Unter spezifischem Gewicht eines Körpers versteht man die Anzahl Gramme, die 1 cbcm desselben wiegt.

Winkel, unter dem sie beim Eintritt gebrochen werden, werden sie beim Austritt wieder zurückgebrochen, sie gehen so wie sie angelangt, parallel der Einfallrichtung weiter. Anders verhält sich die Sache aber, wenn wir einen Glaskörper nehmen, dessen Seitenflächen um einen Winkel gegeneinander geneigt sind, wenn die Strahlen durch ein sogenanntes Prisma fallen, wie es Abb. 28 veranschaulicht. Dann können die austretenden Strahlen unmöglich parallel zur Einfallsrichtung weitergehen, sie werden vielmehr noch stärker abgelenkt, und läßt man sie auf einen weißen Schirm fallen, so erblickt man auf diesem ein schönes farbiges Band als Resultat der Trennung des weißen Strahles. Dieses Band erstreckt sich

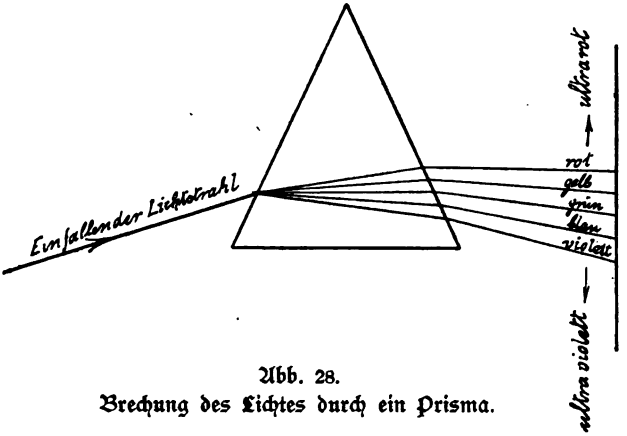


Abb. 28.
Brechung des Lichtes durch ein Prisma.

gleichmäßig von rot nach gelb, grün, blau, violett, mit den dazwischen liegenden Nuancen: das rot wird weniger stark gebrochen wie das gelb, dieses wieder weniger wie grün und so weiter. Nun erinnern wir uns, daß Licht sich wellenförmig durch den Äther hindurch bewegt, es pflanzt sich vom Erregungspunkte ähnlich so fort, wie etwa Wasserwellen, die man auf einem ruhenden See durch hineinwerfen eines kleinen Steines hervorruft. Die Entfernung von Wellenkamm zu Wellenkamm nennt man eine Wellenlänge. In der Optik hängt die Länge einer solchen Welle von der Farbe des Lichtstrahles ab; wir können daher ganz allgemein den Satz aussprechen: die Lichtstrahlen werden um so stärker gebrochen, je kleiner die Wellenlänge ist; rot hat also in unserem Beispiel die größte, violett die kleinste Wellenlänge.

Das farbige Band, das wir vermittels des Prismas entworfen haben, nennt man Spektrum. Ein solches kann man überall da wahrnehmen, wo prismatisch geschliffene, durchsichtige Körper von Lichtstrahlen getroffen werden, wie beim funkelnden Diamanten, bei den Glaskristallen eines Kronleuchters usw.

Betrachtet man das Spektrum in Abb. 28, so kann man fragen, ob denn dasselbe mit dem, was wir mit unserem Auge wahrnehmen können, begrenzt ist, oder ob nicht auch noch Strahlen vorhanden sind, die eine noch größere Wellenlänge als die des roten, oder eine noch kleinere als die des violetten Lichtes enthalten, und die schwächer und stärker abgelenkt, vielleicht noch jenseits des roten, jenseits des violetten Teiles des Spektrums existieren. Diese Frage ist zu bejahen. Es gibt noch derartige Strahlen, die ultraroten und ultravioletten, die wir nicht sehen, deren Vorhandensein aber leicht nach ihrem verschiedenen Verhalten nachzuweisen ist. Die ultraroten Strahlen, die langwelligen, geben sich durch Wärmewirkung zu erkennen, sie wirken ebenso, wie die vom warmen Ofen zu uns gelangenden Wärmestrahlen. Anderseits zeichnen sich die kurzwelligen Strahlen im ultravioletten Gebiete des Spektrums durch ihre chemischen Wirkungen aus, eine photographische Trockenplatte wird beispielsweise durch sie geschwärzt, während die roten Strahlen so gut wie unwirksam sind: der Photograph benutzt das rote Licht beim Entwickeln seiner Platten.

Daß nun alle unsere Lampen außer den sichtbaren Strahlen, noch die unsichtbaren aussenden, lehrt uns die Erfahrung, ja, die Wärmestrahlen werden von uns unmittelbar oft genug recht unangenehm empfunden. Das Gebiet des Spektrums, welches diese Strahlen aussendet, ist ganz außerordentlich viel größer, als der sichtbare Teil desselben, und je weniger Strahlen eine Lichtquelle aus jenem, wie auch aus dem ultravioletten Teil aussendet, um so billiger wird sie sich im Betriebe stellen, denn auch diese Strahlen müssen erzeugt und bezahlt werden. Für die Ausnützung eines vorhandenen Betriebsmittels zu Lichtzwecken gilt also, wie wir sehen, der Satz, den Leuchtkörper nach Möglichkeit so auszubilden, daß er möglichst reich ist an sichtbaren Strahlen. Nun sagt uns die Theorie über die Strahlungsgesetze, daß wir zu diesem Zwecke die Temperatur des glühenden Körpers möglichst hoch gestalten müssen, eine Erkenntnis, die , wie wir später sehen werden, zur Konstruktion der neuen Lampen geführt hat.

Kehren wir jetzt zur Praxis zurück! Für die elektrische Be-

leuchtung kommen zwei Ausführungsarten in Betracht; entweder läßt man den Strom zwischen zwei Kohlenstäben in Form eines sogenannten elektrischen „Bogens" überspringen, oder man schaltet in den Stromkreis einen Leiter von sehr hohem Widerstand ein, der durch den elektrischen Strom erglüht wird. Mit der letztern Art, mit der Glühlampentechnik, wollen wir uns zuerst befassen. Wenn wir zwischen die Pole einer Elektrizitätsquelle von etwa 4 Volt einen dünnen Platindraht einklemmen, so bemerken wir alsbald, daß er glühend, und bei passenden Dimensionen, sogar weißglühend wird. Der Strom, den wir auf diese Weise geschlossen haben, zwängt sich gewissermaßen durch den Leiter, der infolge seines großen Widerstandes ein freies Abfließen verhindert, hindurch und bewirkt so, daß der Draht erhitzt wird. Macht man dasselbe Experiment mit einem Kupferdraht, von derselben Länge und gleichem Querschnitt, so bemerkt man, wenn man einen Stromzeiger zu Hilfe nimmt, daß nun für dieselbe Lichtstärke der elektrische Strom ganz bedeutend kräftiger sein muß, als beim Platindraht, und zwar deshalb, weil nun der Widerstand viel kleiner ist. Das lehrt zunächst, daß wir uns allerdings auf diese einfache Weise eine elektrische Glühlampe herstellen können, daß es aber in Bezug auf die Ausnützung des Stromes ganz auf das Material des Glühkörpers ankommt, indem wir für diesen ein solches von möglichst hohem Widerstand wählen müssen. Besonders geeignet zu diesem Zwecke ist die Kohle. Bei den gebräuchlichsten Glühlampen wird ein sehr dünner Faden verkohlter Baumfaser oder Zelluloſe genommen. Wollte man diesen aber an der Luft erhitzen, so würde er sofort verbrennen, und es war ein außerordentlich glücklicher Gedanke von Edison, dieses dadurch zu verhindern, daß der Glühfaden in eine Glasglocke eingeschmolzen und diese dann mit einer Luftpumpe luftleer gemacht wurde. Dadurch entfernte er den Sauerstoff, der ja in Luft stets vorhanden und ohne den ein Verbrennen unmöglich ist.

Die so gebildete, wohl einem jeden bekannte „Glühbirne" versieht man mit einer Fassung, die es ermöglicht, sie zu jeder Zeit und von jedermann ohne Schwierigkeit in die Leitung einzuschalten. (Vergl. Abb. 30.) Die gebräuchlichste Ausführung ist die, daß man das eine Ende des Fadens resp. seiner in das Glas eingeschmolzenen metallischen Verlängerung mit einem Gewindesockel a verbindet, der am unteren Teil der Birne sitzt, während das andere Ende an einen in der Mitte des Sockels befindlichen isolierten

Knopf b angelötet ist. Im Leitungsnetz, an den Wandarmen oder an Kronleuchtern befinden sich dann entsprechende Gegenstücke, die ihrerseits mit den Drähten der Stromquelle in Verbindung stehen. Die Lampe wird also nur eingeschraubt, um den Anschluß zu bewirken.

Lange Zeit hat man sich mit dieser Kohlefadenglühlampe begnügt, obwohl man wohl wußte, daß sie zu ihrem Betriebe unnötig viel elektrische Energie braucht. Der Grund hierfür ist der, daß diese Lampen außer den sichtbaren Strahlen noch einen großen Teil unsichtbarer Strahlen, und zwar vorwiegend Wärmestrahlen aussenden. Nach unserer früheren Besprechung kennen wir nun zwar das Mittel, das Maximum der Strahlung mehr in den sichtbaren Teil des Spektrums zu rücken: wir müssen die Temperatur des Glühfadens erhöhen. Um dies zu bewirken, braucht man nur, — nach dem Jouleschen Gesetz — den Strom zu verstärken, also, da der Widerstand derselbe bleibt, die Spannung zu vermehren. Welch enormer Unterschied in der Helligkeit, wenn man eine gewöhnliche Glühlampe mit etwas Überspannung brennen läßt! Die Freude ist aber leider nur von kurzer Dauer. Gar bald erliegt der zarte Faden dieser grausamen Behandlung, er zerstäubt, man könnte fast sagen, buchstäblich in Atome[1]) und setzt sich dann als feiner Belag an die Glaswand der Birne an. Es ist eben nicht möglich, die Temperatur beim Kohlefaden so zu erhöhen, wie es die Ökonomie fordert, so daß, will man hier eine Verbesserung schaffen, man eine ganz andere Substanz wählen muß.

Von diesem Gedanken geleitet, hat Professor Nernst in Göttingen einen Glühfaden ersonnen, der zur Konstruktion der nach ihm benannten Lampen geführt hat, die von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin angefertigt wird. Der Glühfaden dieser Lampen enthält ähnliche Substanzen, wie sie dem bekannten Auerschen Glühstrumpf beigegeben sind, nämlich ein Gemisch der sogenannten seltenen Erden, verbunden mit Magnesia. Das daraus gebildete Glühstäbchen ist aber bei gewöhnlicher Temperatur ein Nichtleiter, erst wenn es bis auf 700 oder 800 Grad erhitzt ist, leitet es den elektrischen Strom. Wollte man aber damit ohne weiteres elektrische Beleuchtung einrichten, so

[1]) Auf die Dauer geschieht dies mit allen Glühlampen, sie werden schwarz.

müßte man zunächst den Faden etwa mit einem Streichholz anwärmen, die Lampe „anstecken". Das würde aber bei allen Vorteilen dieser Lampe einen Schritt rückwärts bedeuten und man würde sich mit dieser Neuerung nicht recht befreunden können. Eine äußerst sinnreiche Einrichtung aber hilft diesem Übelstande ab, wenn auch die Lampe dadurch etwas kompliziert wird.

Abb. 29 zeigt die innere Einrichtung im Schema. Das Magnesiumstäbchen m ist von einer Spirale, der Heizspirale, umgeben. Schaltet man die Lampe ein, so tritt der Strom bei a ein

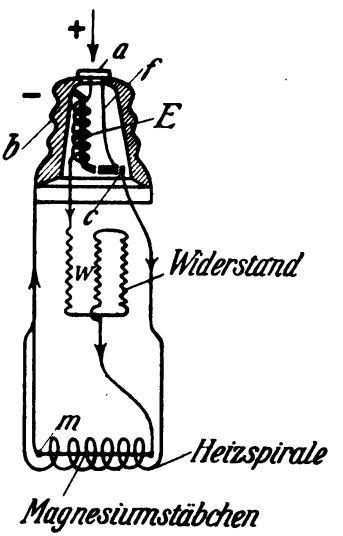


Abb. 29.
Schema einer Nernstlampe.

und gelangt zu dem Federchen f, welches gegen den Stift c drückt, so daß der Strom dort weiter zur Spirale und dann über b hinaus zum Stromnetz zurückkehren kann. Der Strom erhitzt nun die Spirale so stark, daß das Stäbchen im Innern die erforderliche Temperatur zur Stromleitung erhält. Verfolgt man jetzt die Verbindungen der Strombahn, so findet man, daß nunmehr auch der Strom den Nernstkörper passieren kann: er umfließt den kleinen Elektromagneten E, dann gelangt er durch die Widerstände w zu m und von da nach b zum Netz zurück. Sowie aber durch den Strom der kleine Magnet E erregt ist, zieht dieser das Federchen f zu sich heran, die Stromverbindung

bei c wird unterbrochen und damit die Heizspirale ausgeschaltet um unnützen Stromverbrauch zu verhindern. Weshalb sind aber die Widerstände (feiner Eisendraht, in kleine Glasbirnen eingeschlossen) vorhanden? Diese verhindern das Zustandekommen eines zu starken Stromes; das Glühstäbchen m ist nämlich, einmal erhitzt, ein relativ guter Leiter, so daß ohne Vorschaltwiderstand der Strom so anschwellen würde, daß er diesen zerstört.

Vergleicht man die beiden besprochenen Glühlampensysteme, so erkennt man, welch gewaltiger Unterschied in der Einfachheit der Ausführung beider Arten besteht. Daß demgemäß die Nernstlampe erheblich teurer beim Einkauf ist wie die gewöhnliche Glühlampe, liegt auf der Hand, und nur die Tatsache, daß bei gleicher Lichtstärke die Nernstlampe etwa die Hälfte der elektrischen Energie fordert, kann diesen Übelstand einigermaßen wieder gut machen. Übrigens lassen sich die dem Verbrauch unterworfenen Teile der Nernstlampe, wie Glühkörper und auch wohl dann und wann einmal die kleinen Vorschaltwiderstände leicht und verhältnismäßig billig ersetzen.

Der Wunsch, zur einfachen Form der Glühlampe zurückzukehren, und dabei, wie bei der Nernstlampe, den Strom besser auszunützen, hat zu einer neuen Art von Lampen geführt. Auch hier galt es, an stelle des Kohlefadens einen solchen von einem Material zu setzen, der weder bei der hohen Temperatur, die angestrebt werden muß, zerstäubt, noch wie dies gewöhnlicher Draht tun würde, einfach wegschmilzt. Als ein Metall, das außerordentlich hohe Temperaturen vertragen kann, hat man schon seit längerer Zeit das Osmium gekannt. Allein, dieses Metall ist so spröde, daß es sich nicht ohne weiteres zu feinem Drahte ausziehen läßt; man vermischt es deshalb erst in fein verteiltem Zustande mit organischen Substanzen, stellt daraus eine knetbare Masse her, die man durch eine feine Düse hindurch drückt und gewinnt so einen dünnen Faden. Die organischen Beimengungen werden durch Glühen des Fadens entfernt. Ein solcher Faden ist natürlich sehr zerbrechlich, so daß diese Lampen eine äußerst sorgfältige Behandlung erfordern. Eine Verbesserung bieten die in jüngster Zeit von der Auer-Gesellschaft angefertigten Osramlampen, deren Faden aus einer Zusammensetzung des Osmiums mit dem Metall Wolfram besteht.

Der reine Osmiumfaden ist ein ziemlich guter Leiter der Elektrizität; er besitzt also einen verhältnismäßig geringen Wider-

stand, den man nicht dadurch verkleinern kann, daß man seinen Querschnitt verringert, da dann der Faden jeglichen Halt verlieren würde. Da nun, wie uns nach dem Ohmschen Gesetz bekannt ist, bei einer gegebenen Spannung der Strom vom Widerstand abhängt, so darf die Spannung keine allzu hohe sein, soll der Strom nicht über Gebühr anwachsen und da weiter die Spannung unserer Elektrizitätswerke 110, meistens sogar 220 Volt beträgt, so muß man immer *mehrere* Osmiumlampen, die für eine Spannung von höchstens 50 Volt konstruiert werden, *hintereinander* schalten. Die neue Osramlampe wird indessen für Spannungen bis zu 110 Volt gebaut.

Die gleichen Vorzüge in bezug auf Stromverbrauch bietet die von Siemens & Halske konstruierte Tantallampe von eigentümlicher Form, deren Faden sich durch besondere Festigkeit auszeichnet. Hier tritt an stelle des Osmiummetalles das Tantal, das sich aber ohne weiteres zu sehr dünnen Drähten von ca. 0,05 mm Durchmesser ausziehen läßt. Trotz dieses geringen Querschnittes muß ein solcher Draht eine beträchtliche Länge besitzen, wenn er bei einer Spannung von 110 Volt dem Strom den nötigen Widerstand entgegensetzen soll. Der Tantalfaden von 700 mm Länge wird in sinnreicher Weise in dem kleinen Raume einer Glasbirne eingeschlossen, indem man ihn zickzackförmig im Kreise herum auf ein kleines Gestelle aufwindet. Abb. 30 zeigt die Anordnung.

Sowohl die Osmium-, wie auch Osram- und Tantallampen liefern ein schönes weißes Licht. Allerdings ist ihr Anschaffungspreis bedeutend höher als der einer gewöhnlichen Glühlampe. Da sie aber nur ca. die Hälfte der teuren elektrischen Energie brauchen, als dies bei gleicher Lichtstärke bei der Kohlefadenlampe der Fall ist, so soll sich der Betrieb sogar noch billiger stellen.

An dieser Stelle erscheint es zweckmäßig, uns klar zu machen, was man unter Lichtstärke versteht und wie man diese zahlenmäßig ausdrücken kann. Wir werden da auf den Begriff der Kerzenstärke geführt. Wenn man von einer 16kerzigen Lampe spricht, so will man offenbar damit sagen, daß die Lampe 16 mal so hell ist, als eine Kerze. Da aber die Helligkeit einer solchen bedingt wird durch das Brennmaterial sowohl wie auch durch die Dimensionen derselben, so schrieb man früher Kerzen von ganz bestimmtem Material, in bestimmter Ausführung und von bestimmter Dochtlänge vor. Eine solche Einheitskerze ist indessen mit mancherlei Mängel behaftet. Heute legt man deshalb in Deutschland

die strenger definierbare Amylacetatlampe zugrunde, die nach ihrem Konstrukteur v. Hefner-Alteneck auch wohl Hefner-Kerze (HK) genannt wird. Der Brennstoff, reines Amylacetat, wird durch einen Docht von 8 mm Durchmesser zum Brenner geführt und so einreguliert, daß die Flamme genau 40 mm Höhe besitzt. auf diese Lichtquelle als Einheit bezieht man alle anderen Lampen.

Abb. 30.
Tantallampe von Siemens u. Halske.

Wir wollen uns nun einmal fragen, was denn die Kerzenstärke bei den verschiedenen Glühlampen kostet. Der Elektrizitätszähler gibt den Verbrauch der elektrischen Energie in Wattstunden an, d. h. er sagt uns, wieviel Strom in Amper und auf wie lange Zeit bei einer gegebenen Spannung wir ihn dem Netz entnommen haben. Für die Hektowattstunde — der hundertfache Betrag einer Wattstunde — wird gewöhnlich für Lichtzwecke 6 Pfg. bezahlt, ein Preis, der übrigens in den verschiedenen Orten etwas verschieden ausfällt. Eine gewöhnliche Glühlampe braucht etwa 3,4 Watt pro HK. Die Voltzahl, also die

Spannung, hat einen konstanten Wert, meist 220 Volt, so daß der Stromverbrauch für eine Kerze sich berechnet aus

$$220 \times \text{Amper} = 3{,}4, \text{ also Amper} = \frac{3{,}4}{220} = 0{,}015.$$

Zum Betrieb einer 16 HK-Lampe ist also ein Strom von $0{,}015 \times 16 = 0{,}25$ Amper bei 220 Volt erforderlich; der Verbrauch ist demnach $220 \times 0{,}25 = 55$ Watt, es stellt sich somit der Preis auf etwa 3,3 Pfg. pro Stunde.

Nehmen wir jetzt an stelle der gewöhnlichen Glühlampe eine Nernstlampe, so gibt der Zähler für die gleiche Kerzenzahl nur etwa die Hälfte des Stromverbrauchs an, denn diese Lampe verzehrt eine Energie von ca. 1,5 Watt pro Kerze. Dasselbe gilt von der Osmium-, der Osram- und Tantallampe, man kann also beispielsweise die 220 Volt Glühlampe durch zwei Tantallampen von je 110 Volt Spannung ersetzen und hat bei gleichem Stromverbrauch die doppelte Helligkeit.

Wenn es sich darum handelt, größere Bereiche, etwa Straßen, Plätze oder auch große Räume elektrisch zu beleuchten, so würde es äußerst kostspielig sein, wollte man, wie dies in Luxusräumen wohl geschieht, allgemein die Helligkeit dadurch erzielen, daß man die Zahl der Glühlampen entsprechend vermehrt. Viel günstiger gestaltet sich da der Betrieb mit der elektrischen Bogenlampe, indem bei dieser eine Temperatur von ca. 4000° Celsius vorhanden ist, wodurch das Maximum der Strahlung in den *sichtbaren* Bereich des Spektrums rückt, Wärmestrahlen daher nur in geringerem Maße ausgestrahlt werden.

Die ersten Versuche der elektrischen Beleuchtung wurden mit einer Bogenlampe angestellt, allein, da man zur Beschaffung des Stromes auf galvanische Elemente angewiesen war, so konnte von einer praktischen Einführung nicht die Rede sein. Heute ist das, wie wir wissen, anders; die Bogenlampe bildet einen wichtigen Teil der elektrischen Beleuchtung und wir wollen die Wirkungsweise derselben nachstehend ausführlich besprechen.

Wenn wir in die Leitung einer Elektrizitätsquelle von etwa 50 Volt, zwei Kohlenstäbe einschalten, so daß sie sich berühren, so bemerken wir, wenn wir die Kohlenenden vorsichtig voneinander entfernen, daß die Elektrizität in Form eines zischenden Funkens weiterfließt und erst unterbrochen wird, wenn die Entfernung zu groß geworden ist. Die genauere Beobachtung zeigt

uns, daß dieser Funken, oder besser gesagt diese Flamme, in Form eines Bogens den Zwischenraum überbrückt, woher auch der Name Bogenlampe stammt. Die enorme Helligkeit rührt aber nicht von dieser Flamme allein her, sondern hat weiter noch ihren Ursprung in den weißglühenden Enden der Kohlenstäbe und den ebenfalls weißglühenden Kohlenpartikelchen, die von den Stäben losgerissen werden.

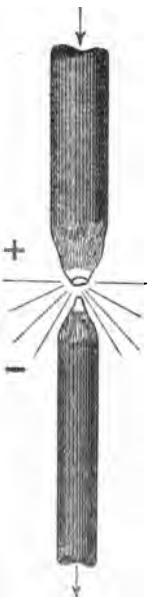


Abb. 31. Die Bogenlampe.

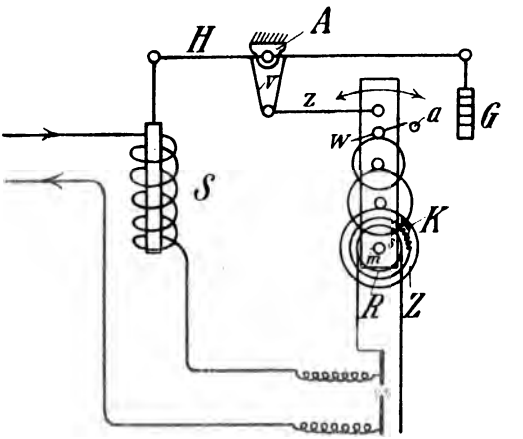


Abb. 32. Reguliermechanismus einer Bogenlampe.

Da, wo der Strom herkommt, an der positiven Kohle, werden weit mehr solcher Partikelchen gelöst, als an der anderen, der negativen, erstere muß daher stärker bemessen sein als letztere. Wenn die Lampe einige Zeit gebrannt hat, gewahrt man eine Verschiedenheit in der Gestaltung der beiden Kohlenenden: die negative Kohle läuft kegelförmig zu, sie endet in eine Spitze, während sich bei der positiven eine Höhlung, der sogenannte Krater, bildet. Hier ist der eigentliche Sitz der Helligkeit, und da außerdem durch diese Höhlung die Lichtstrahlen zurückgeworfen werden, so ordnet man die positive Kohle oben an, das Licht wird dort reflektiert und nach unten geworfen. (Abb. 31.)

Will man eine Bogenlampe anzünden, so ist es notwendig, daß man vorher die Kohlenstäbe, wie wir es auch oben getan, berührt und wieder voneinander zieht. Mögen die Kohlenenden noch so nahe zusammen sein, so wird die gebräuchliche Spannung niemals ausreichen, den Strom da hinüber zu treiben; aber selbst wenn dies der Fall wäre, so würde wegen der Zerstäubung der Stäbe die Entfernung immer größer und größer, damit also auch der Widerstand stets zunehmen, bis notwendig die Lampe erlöschen muß. Das Berühren und Entfernen der Stäbe, sowie das Einregulieren auf den richtigen Abstand muß natürlich selbsttätig geschehen. Jede Bogenlampe zu Beleuchtungszwecken besitzt demnach eine Reguliervorrichtung, die allerdings die Ausführung etwas kompliziert gestaltet. Diese Reguliervorrichtung wird betätigt durch denselben Strom, den die Lampe zum Brennen benötigt und zwar unter Zuhilfenahme des Elektromagnetismus. Greifen wir aus der Unmenge verschiedener Konstruktionen einige heraus.

Bevor der Strom zu den Kohlen gelangt, wird er durch eine Spule S aus dickem Drahte hindurchgeführt, in deren Innerem, wie aus Abb. 32 zu ersehen ist ein Eisenkern frei beweglich auf und abschwingen kann.

Mit dem Eisenkern ist ein Hebel H verbunden, der bei A einen festen Drehpunkt hat und einen Ansatz v besitzt. Diese wirkt mittels eines Zugarmes z auf den Rahmen eines Uhrwerkes, das um die Achse m, welches zugleich die Achse des großen Zahnrades ist, schwingen kann. Bewegt sich der Eisenkern auf- oder abwärts, so führt durch die Hebelverbindung der obere Teil des Rahmens entsprechende Bewegungen nach links oder rechts aus.

In dem Laufwerk ist der Windfang w (ein Flügelrad) durch einige Zwischenräder mit dem großen Zahnrad Z verbunden. Auf dem letzteren befindet sich ein Sperrad, in das die Sperrklinke K eingreifen kann; außerdem ist noch die Rolle R angebracht, um die ein feines Stahlseil gelegt ist, das an seinen Enden mit den Kohlenhaltern verbunden ist. Setzen wir jetzt die Lampe in Tätigkeit. Die Kohlen berühren sich, so daß der Stromkreis geschlossen ist. Dadurch wird die Spule S erregt und der Eisenkern in das Innere derselben hineingezogen. Die Folge davon ist, daß das Uhrwerk oben nach rechts geschoben wird, und gleichzeitig durch Vermittlung des Gesperres das unterste Zahnrad eine Drehung erfährt,

so daß sich die Kohlen voneinander entfernen und der Lichtbogen entsteht. Sind nach einiger Zeit die Kohlenstäbe zum Teil abgebrannt, der Luftzwischenraum also größer und größer geworden, so ist auch entsprechend der Widerstand gewachsen, der Strom in der Magnetspule nimmt ab, so daß der Eisenkern durch Wirkung des Gegengewichtes G mehr und mehr der Spule entsteigt und den Uhrrahmen nach links hinüber bewegt. Durch diese Bewegung wird die Sperrklinke gegen den festen, nicht mit dem Rahmen

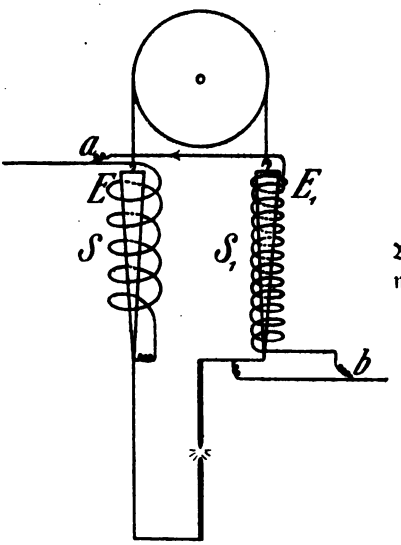


Abb. 33. Reguliermechanismus einer Bogenlampe.

verbundenen Stift s gedrückt und aus dem Sperrad gehoben. Inzwischen ist auch der Windfang von dem Arretierstift a freigelassen und das Laufwerk beginnt, infolge des größeren Gewichtes des oberen Kohlenhalters, abzulaufen, wodurch sich die Kohlen wieder nähern, bis der Strom stark genug ist, um den Rahmen wieder nach rechts zu schieben, die Bewegung zu hemmen.

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, mit dem Uhrwerk ganz zu brechen und die Regulierung unmittelbar mit Hilfe des Magnetismus selbst zu betätigen. Eine sehr verbreitete Ausführung ist die von Krizick, die von den Siemens-Schuckert-Werken fabriziert wird. Zum besseren Verständnis betrachten wir die Abb. 33. Dort sehen wir zwei Spulen, von denen die eine, die Hauptspule S

aus wenigen Windungen dicken Drahtes, die andere, die Nebenschlußspule S_1, aus sehr vielen Windungen dünnen Drahtes besteht. In diese Spulen ragen wieder Eisenkerne hinein, die durch eine Rolle mittels eines dünnen Drahtseiles miteinander verbunden sind und zugleich die Kohlenhalter tragen. Es fällt die eigentümliche Form der Eisenkerne auf, die als schlanke Kegel ausgebildet sind. Das hat folgenden Zweck. Es wird nämlich dadurch bewirkt, daß die Kraft, mit welcher der Eisenkern in die Spule hineingezogen wird, immer dieselbe Größe besitzt, gleichviel, ob er zum Teil aus der Spule herausragt oder sich in der Mitte befindet. Bei einem zylindrischen Eisenstück nimmt diese Kraft nach der Mitte zu ab, sie wirkt am stärksten, wenn der Kern sich mit einem Ende an der Öffnung befindet. Nun hängt aber mit bezug auf das Eisen die Zugkraft ab vom Querschnitt desselben, bei kleinerem Querschnitt muß auch die Wirkung schwächer ausfallen. Macht man ihn also in dem Maße kleiner, als die Zugkraft größer ist, so kann man offenbar die oben erwähnte gleichförmige Anziehung erzielen und gelangt so zu den spitzen Eisenkernen.

Bevor wir den ganzen Vorgang beim Anmachen der Lampe verstehen können, müssen wir noch den Zweck der beiden Spulen besprechen. Die Spule S_1 ist in den Punkten a und b parallel zu der Spule S geschaltet. Wenn durch S kein Strom fließt, dann wird S_1 von einem Strome durchlaufen, der der Spannung in den Punkten a und b entspricht, d. h. der Spannung des Elektrizitätswerkes. Fließt hingegen ein Strom durch S, so ist die Spannung zwischen a und b um so kleiner, je stärker dieser Strom ist, der offenbar seine größte Stärke hat, wenn die Kohlen sich berühren. Aus dem Gesagten folgt, daß beim Anzünden der Lampe der Magnetismus auf den Eisenkern E stärker wirkt als auf E_1, die Kohlen müssen sich also entfernen. Wird nun diese Entfernung größer, dann wird auch der Strom in S schwächer, der des Nebenschlusses aber wächst an, bis der Magnetismus in S_1 schließlich überwiegt: die Kohlen nähern sich. Wir erkennen, daß mit zunehmendem Verbrauch der Kohlen auch die Eisenkerne ihre Lage mehr und mehr ändern und daraus die Notwendigkeit, die regulierenden Kräfte von der Stellung der Magnetkerne unabhängig zu machen. Solche Lampen, mit zwei Spulen, nennt man Differenziallampen. Für gewöhnlich müssen mehrere Bogenlampen in einen Stromkreis hintereinander geschaltet werden. Würde man dazu ohne weiteres die zuletzt beschriebene Konstruktion wählen,

so würde beim Erlöschen einer Lampe, wenn etwa ein Kohlenstab abgebrannt ist, ein verhältnismäßig starker Strom durch die Nebenschlußspule hindurchfließen, wodurch diese beschädigt werden kann. Gleichwohl aber ist dieser Strom wegen des großen Widerstandes der Spule viel zu schwach, als daß er noch andere im Stromkreise befindliche Lampen speisen könnte. Diesem Übelstande wird durch eine Hilfsspule, die mit der Nebenschlußspule zusammengeschaltet

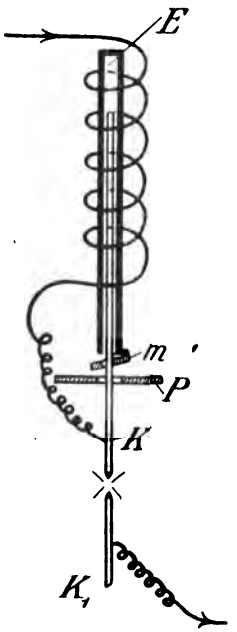


Abb. 34.
Liliputlampe von Siemens u. Halske.

ist, abgeholfen. Wächst nämlich in letzterer der Strom zu stark an, so wird auch die Hilfsspule stark erregt und kann einen Eisenkern anziehen, auf den für gewöhnlich ihre Wirkung zu schwach ist. Dieser Eisenkern schaltet einen Draht von einem Widerstande, wie ihn die brennende Lampe haben würde, parallel zur Nebenschlußspule, wodurch diese entlastet wird und dem Hauptstrom ein sicherer Weg zum Weiterfließen geboten ist.

Dem Bedürfnis, das elektrische Bogenlicht auch in kleineren Räumen benutzen zu können, kommt die Firma Siemens & Halske durch den Bau ihrer Liliputlampe nach.

Das Prinzip derselben ist aus Abb. 34 ersichtlich. Auch hier haben wir kein Uhrwerk. Der dünne Kohlenstift K ragt in den hohlen Eisenkern E des Elektromagneten hinein. Unten trägt der Kern eine Metallplatte m, die einseitig mit einem Scharnier an diesem befestigt ist und ein Loch besitzt, das gerade so weit ist, daß die Kohle leicht hindurchgeht. Ist kein Strom vorhanden, so liegt m auf der Grundplatte P horizontal auf, die obere Kohle gleitet auf die untere, so daß beide sich berühren. Schalten wir den Strom ein, so hebt sich der Eisenkern; das Metallstück m legt sich schräg, es „eckt" sich, klemmt dadurch den Kohlenstift ein, der mit emporgezogen wird. Sind die Kohlen zu weit abgebrannt, so fällt der Eisenkern einen Moment hinab, zieht aber sogleich die Kohle wieder nach sich.

Die Praxis hat ergeben, daß für 100 Kerzenstärken das Bogenlicht etwa 45 Watt benötigt[1]), d. h., es würde sich der Betrieb von 100 HK auf etwa 3 Pfennig pro Stunde stellen. Wir sahen früher, daß eine 16kerzige Glühlampe mit Kohlefaden etwa 3,3 Pfg. kostet und erkennen daraus, wie außerordentlich viel billiger der Betrieb mit Bogenlampen ist; sie eignen sich allerdings nur zur Massenbeleuchtung.

Sowohl die elektrischen Bogenlampen, als auch die Glühlampen kann man mit Wechselstrom betreiben, nur muß das Regulierwerk der ersteren einen Magneten mit unterteiltem Eisen besitzen, wenn man nicht etwa andere Effekte benutzt, auf deren Beschreibung wir nicht näher eingehen wollen. Es folgt dies aus denselben Gründen, wie sie für den Bau von Motoren maßgebend sind, die mit Wechselstrom betrieben werden sollen, und deren Ausführung wir früher besprochen haben.

Zum Schluß dieses Kapittels wollen wir noch der sogenannten Effektbogenlampe Erwähnung tun. Die Lampe selbst bietet nichts neues, nur fällt das ins rötliche spielende Licht auf. Es werden nämlich der Kohle gewisse Salze beigemengt, die ihr die Fähigkeit verleihen, mehr solche Strahlen auszusenden, die im sichtbaren Bereich des Spektrums (vergl. Seite 58) liegen. Dies hat zur Folge, daß die Lampe bei demselben Strom mehr Kerzenstärken liefert, als es eine gewöhnliche tun würde, die Elektrizität also besser ausgenützt wird.

[1]) Das Licht der Bogenlampen erreicht oft mehrere Tausend Kerzenstärken.

6. Kapitel.

Die Übertragung des elektrischen Stromes in die Ferne.

In den beiden letzten Kapiteln haben wir gesehen, wie der elektrische Strom zur Arbeitsleistung und zu Beleuchtungszwecken verwendet werden kann, nachdem wir bereits kennen gelernt hatten, wie wir den Strom im Großen herstellen. Selten wird aber die Verbrauchsstelle in unmittelbarer Nähe der Erzeugungsstelle sein; oft muß der Strom eine beträchtliche Wegstrecke zurücklegen, ehe er am Orte seiner Bestimmung anlangt, ja, nicht selten liegt das Elektrizitätswerk, zumal bei Ausnützung einer Wasserkraft, in einsamer Gegend, meilenweit von der Stelle des Konsums entfernt, so daß es nötig wird, ein ausgedehntes Leitungsnetz anzuwenden. Die Zeit, die erforderlich ist, damit ein Strom den fernen Ort erreicht, ist unmeßbar klein, dafür spielt die Entfernung keine Rolle; wohl aber spielt sie eine Rolle und zwar eine sehr wesentliche in bezug auf das Leitungsmaterial. Der Widerstand, den der Strom in einem Leiter zu überwinden hat, bedingt notwendig einen entsprechenden Arbeitsverlust; wir wissen aber, daß dieser Widerstand, wie ja auch selbstverständlich, mit der Länge einer Leitung zunimmt, anderseits aber ist uns bekannt, daß wir den Widerstand kleiner machen, wenn wir den Querschnitt der Drahtleitung vergrößern. Daraus würde also zunächst sich die Folgerung ergeben, daß, um große Verluste zu vermeiden, die Fernleitung einen großen Querschnitt besitzen müsse. Das würde aber, abgesehen von der schwierigen Verlegung solch dicker Drähte für die großen Stromstärken zu solch ungeheueren Kosten führen, daß praktisch dieser Gedanke von vornherein zu verwerfen ist. Eine Elektrizitätsquelle von 110 Volt Spannung kann aus diesem Grunde niemals für beträchtliche Entfernungen in Frage kommen, ja es kann dabei der Widerstand sich so geltend machen, daß die Ver-

luste fast die ganze Energie aufzehren. Nehmen wir ein Beispiel. Vorhanden sind 110 Volt, der Leiter habe einen Querschnitt von 5 qmm, die Entfernung (Hin- und Rückleitung) betrage 10 km, was in großen Städten keine Seltenheit ist. Nun lehrt der Versuch, daß Kupferdraht von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt einen Widerstand von etwa $^1/_{61}$ Ohm (Ω) hat; rechnen wir danach den Widerstand unserer Leitung aus, so erhalten wir 33 Ohm. Es soll der Fall gesetzt werden, daß in der Entfernung von 5 km von der Zentrale eine Glühlampe von 16 HK brenne. Eine solche Lampe braucht ca. 0,45 Amper Strom; wir fragen uns, wie groß ist der Verlust, der Spannungsverlust, in der Leitung? Zur Berechnung nehmen wir das Ohmsche Gesetz zu Hilfe. Dieses sagt uns: damit der Strom 0,45 Amper in der Leitung von 33 Ohm Widerstand fließe, ist eine Spannung von 15 Volt erforderlich, denn wir haben ja, genau wie auf Seite 8

$$\text{Spannung} = \text{Stromstärke} \times \text{Widerstand}$$

oder in Buchstaben $E = I \times W$

$$= 0{,}45 \times 33 = 15 \text{ Volt}.$$

Nun ist der Widerstand der Lampe etwa 245 Ohm; rechnen wir dazu den Widerstand der Leitung, so haben wir

$$245 + 33 = 278 \text{ Ohm Gesamtwiderstand}$$

woraus wir erkennen: damit die Lampe mit der richtigen Stromstärke brenne, ist die Spannung von

$$E = 0{,}45 \times 278 = 125 \text{ Volt}$$
$$= 110 + 15 \text{ Volt}$$

erforderlich. Liefert das Elektrizitätswerk uns die normale Spannung von 110 Volt, so brennt die Lampe um eine Spannung von 15 Volt zu dunkel, wodurch sie unbrauchbar sein würde.

Wie läßt sich, ohne den Leitungsquerschnitt zu verstärken, diesem Übelstande abhelfen? Wir müssen die Spannung vermehren. Um dies zu verstehen, nehmen wir wieder ein Beispiel; die Verhältnisse seien dieselben, nur betrage jetzt die Spannung 220 Volt. Dann braucht die Lampe ca. 0,25 Amper und der Spannungsverlust berechnet sich genau wie vorhin

$$E = I \times W = 0{,}25 \times 33 = 8 \text{ Volt}$$

Die Glühlampe verlangt also nur einen Zuschuß von 8 Volt um normal zu brennen. Es ist also der Betrieb mit höherer Spannung viel günstiger; während der Verlust im ersten Falle ca. 14 % betrug,

berechnet sich derselbe im zweiten Beispiel zu nur 4 %, man hat also nur etwa den vierten Teil des Verlustes!

Wir finden deshalb heute fast alle Elektrizitätswerke für eine Spannung von 220 Volt (eigentlich wie wir gleich sehen werden 2 mal 220 Volt) eingerichtet, und man würde gewiß noch höher gehen, wenn dadurch nicht zu sehr die sichere Verlegung der Leitungen erschwert würde und man in der Lage wäre, entsprechende Beleuchtungskörper zu konstruieren. Wir sahen aber früher schon, daß letzteres eine Grenze hat. Die gewöhnliche Glühlampe hat man für eine Spannung von 220 Volt konstruiert, es ist dies aber auch die Grenze des Erreichbaren. Die neueren Lampen aber sind nur für verhältnismäßig geringe Spannung zu konstruieren, so daß man, wollte man diese noch verstärken, genötigt wäre, eine größere Anzahl von Lampen hintereinander zu schalten, was aber sehr unbequem sein würde.

Wie vorhin angedeutet, baut man heutzutage die Elektrizitätswerke für eine Spannung von 2×220 Volt, es liefert also das Werk in Wirklichkeit 440 Volt, eine Spannung, womit auch das ganze Netz gespeist wird. Wenn auch, wie wir sahen, diese hohe Spannung aus ökonomischen Gründen notwendig ist, so hat sie gleichwohl ihre Nachteile, so daß sie nicht immer unmittelbar zur Verwendung kommen kann, es vielmehr notwendig wird, sie zu unterteilen, eine Forderung, der durch Einführung des sogenannten Dreileitersystems Genüge geleistet wird. Dieses System wird heute in allen Städten angewandt, wo es sich um Gleichstrom handelt und wegen seiner Wichtigkeit wollen wir dasselbe eingehend besprechen.

Nehmen wir an, im Elektrizitätswerke befinden sich zwei Maschinen, von denen jede eine Spannung von 220 Volt liefert. Dann kann man von einer jeden Maschine ein Kabelpaar aussenden (Abb. 35) und an der Konsumstelle Lampen von 220 Volt Spannung einschalten. Bei dieser Anordnung aber haben wir nichts gewonnen, obwohl die beiden Stromquellen in ihrer Summe, hintereinandergeschaltet, 440 Volt ausmachen. Nun tritt die Frage an uns heran: wie kann man diese Hintereinanderschaltung vornehmen, ohne daß dadurch Unzuträglichkeiten entstehen? Das Studium der Abb. 35 lehrt, daß wir die beiden mittleren Drähte fortlassen, sie sparen können, wenn wir den negativen Pol der Maschine I mit dem positiven von Maschine II direkt verbinden, wie es Abb. 36 veranschaulicht. Dann besteht zwischen den beiden

Leitern die Spannung von 440 Volt, wodurch wir indessen gezwungen werden, stets zwei Glühlampen von je 220 Volt hintereinanderzuschalten.

Die Folge davon würde sein, daß der Konsument jedesmal zwei Lampen brennen müßte, also auch zu bezahlen hat, wenn ihm eine völlig genügt. Außerdem würde das Erlöschen einer einzigen Lampe, etwa durch Bruch des Fadens, das gleichzeitige Erlöschen der zweiten zur Folge haben, was auch nicht angenehm empfunden werden würde, so daß aus diesen Gründen eine solche

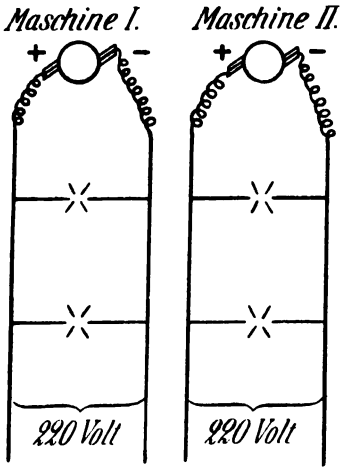


Abb. 35.
Fernleitung, gesonderte Leitungen.

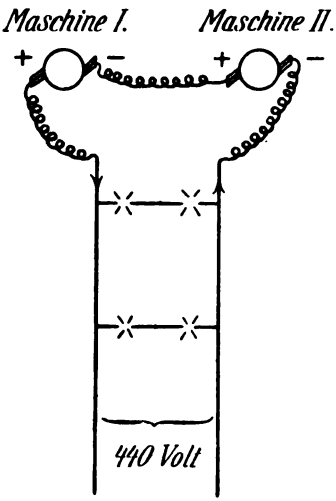


Abb. 36. Fernleitung mit zwei Leitern.

Anordnung nicht gewählt werden kann. Es fand sich aber bald ein Ausweg. Man kann nämlich einen dritten Leiter aus verhältnismäßig dünnem Drahte, einfach ohne Umhüllung, mit geringen Kosten den beiden Hauptkabeln zugesellen, wodurch es ermöglicht wird, nach Belieben 220 oder 440 Volt dem Netz zu entnehmen. Wie dies geschieht, erkennen wir aus Abb. 37.

Nehmen wir den Fall, es sollen vier Lampen von gleicher Kerzenzahl brennen, dann können wir die Schaltung so vornehmen, daß zwei Lampen dem rechten und zwei Lampen dem linken Zweig zugeteilt werden. Man erkennt, daß in diesem Falle der mittlere Leiter, der an der Verbindungsleitung vom

Minus- und Pluspol der beiden Maschinen liegt, nur an den Stellen benutzt wird, wo die entsprechenden Anschlüsse gemacht sind und weiter, daß überhaupt kein Strom in ihm zum Elektrizitätswerk fließt. Man kann aber hier nach Belieben einzelne Lampen ein- und ausschalten ohne eine benachbarte zu beeinflussen, denn der Strom findet immer durch den Mittelleiter seinen Weg zurück, mag er nun aus der rechten oder linken Hälfte kommen. Praktisch wird beim Verlegen der Leitungen stets darauf geachtet, daß die Stromentnahme für beide Hälften

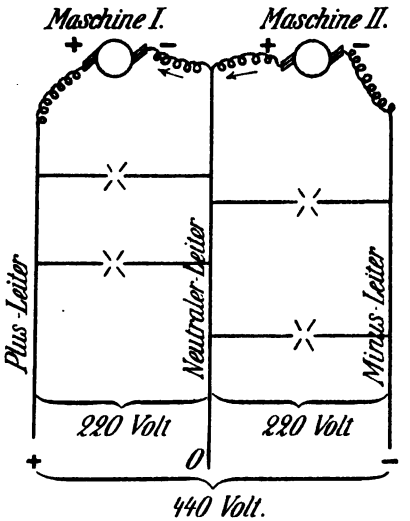


Abb. 37. Dreileitersystem.

möglichst gleichmäßig geschieht, der Mittelleiter also so wenig wie möglich belastet wird, möglichst den Strom null führt. Man nennt daher auch diesen Leiter den Nullleiter, oder auch, da er nackt in die Erde verlegt wird, gegen diese also keinen Spannungsunterschied zeigt, den neutralen Leiter, oder endlich auch wohl den Mittelleiter. Gegen diesen neutralen Leiter haben, wie wir sahen, die beiden andern, die Außenleiter, die Spannungsdifferenz von 220 Volt und zwar derartig, daß von dem einen der Strom zum, zu dem andern der Strom vom neutralen Leiter fließt. Daher bezeichnet man diese Leiter als positive und negative Außenleiter oder auch wohl kurz als Plus- und Minusleiter.

Wenngleich die Spannung von 440 Volt ausreicht, um ziemlich ausgedehnte Stadtbezirke mit Strom zu versorgen, so langt sie doch keineswegs zu, wenn es sich darum handelt, die Elektrizität viele Meilen weit in das Gelände hineinzusenden. Wir ersahen schon aus unserer kurzen Berechnung, daß bei einer Entfernung von 5 km Verluste auftraten, die nicht zu vernachlässigen sind, sicherlich aber den Betrieb unmöglich machen würden, wenn etwa die Entfernung das Zehnfache betrüge. Es mußte also die Spannung noch bedeutend höher gestaltet werden, und wenn auch zunächst die technischen Schwierigkeiten nicht gering waren, so gelang es doch der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin, in Verbindung mit den Oerlikonwerken, das Problem in glänzender Weise zu lösen, als sie die fast klassisch gewordene Fernleitung Frankfurt-Lauffen im Jahre 1891 errichteten. Um indessen diese Anlage näher zu beschreiben, müssen wir vorerst noch einiges vorausschicken und vor allem die Umformung des elektrischen Stromes mittels der Transformatoren besprechen.

Die Erzeugung von hohen Spannungen kann nicht gut vermittels einer Gleichstromdynamo geschehen. Dort läßt sich höchstens eine solche von 2000 Volt erzielen, darüber hinaus würde die Isolation gefährdet sein und vor allem der Kommutator wegen der Unterbrechungsstellen unerträglich funken und gar durchschlagen.

Hier kommt allein die Wechselstrommaschine in Betracht. Nicht nur daß diese Maschine an Stelle des Kommutators geschlossene Schleifringe besitzt und infolgedessen eine Funkenbildung an den Bürsten nicht auftreten kann, es läßt sich auch die Spannung nach Belieben erhöhen, nachdem der Strom bereits die Maschine verlassen hat. Es geschieht dies mittels der sogenannten Transformatoren. Was im Grunde ein Transformator ist, das wissen wir schon, wir lernten einen solchen kennen bei Besprechung der Induktionserscheinungen. Dort sahen wir, daß man durch Unterbrechen und Schließen des Stromes in einer Spule, oder, was auf dasselbe hinausläuft, durch Verwendung von Wechselstrom, in einer benachbarten Spule, die zweckmäßig die erste umgibt, Ströme erzeugen kann und bemerkten dabei, daß die Spannung des neuen Stromes, des Sekundärstromes, in dem Maße zunimmt, als wir die Drahtlagen der zweiten Spule vermehren. Wenn sich nun auch ein solcher Umformer oder Transformator (etwas anderes ist ja der Ruhmkorffsche Induktionsapparat nicht)

im Laboratorium gut bewährt, so hatte die Technik noch gar manches zu verbessern. Sie muß stets das Augenmerk darauf richten, Verluste der aufgewandten Energie zu vermeiden oder doch auf ein Minimum zu beschränken. Deshalb erkennen wir im technischen Transformator den Induktionsapparat kaum wieder. Die Ausführung ist im Prinzip die folgende.

Die Primärwicklung ist auf einen Eisenkern gewickelt, der aus einer Anzahl Blechen oder Eisendrähten besteht, letzteres um die schädlichen Wirbelströme (Seite 51) zu vermeiden. Dieser Eisenkern aber ist nicht an zwei Enden offen, sondern entweder zu einem Ring ausgebildet, oder aber, wenn es Eisenschenkel sind, durch Joche zu einem geschlossenen Magnetgestell verbunden. Wir haben also hier keine freien Pole; die Kraftlinien treten nicht in die Luft hinaus, sondern sie verlaufen ganz im Innern des Eisens, was ihnen bedeutend mehr zusagt. Fließt Wechselstrom um einen solchen Eisenkern, so tritt noch eine Erscheinung störend auf, die man Hysteresis (nachbleiben) nennt. Es kann nämlich, um sich so auszudrücken, der Magnetismus nicht in demselben Maße folgen, wie der Strom anwächst, er bleibt etwas zurück. Das gleiche geschieht, wenn der Strom nach dem Wechsel wieder abnimmt und man erkennt, daß durch diese Trägheit bei sehr schnellem Wechsel des Stromes, der Magnetismus sich nicht, wenigstens nicht mehr wesentlich ändern würde, wodurch also die induzierende Wirkung, das Entstehen und Verschwinden der Kraftlinien außerordentlich geschwächt werden muß. Darum ist es nötig, daß das Eisen möglichst weich, möglichst frei sei von remanentem Magnetismus; ferner darf die Periode des Wechselstromes ein gewisses Maß nicht überschreiten, man wählt etwa 50 Wechsel in der Sekunde.

Durch genaues Abwägen dieser Verhältnisse hat man es heute so weit gebracht, daß man 96 % der eingesteckten Energie — bei Vollbelastung — dem Transformator wieder entnehmen kann, gewiß ein recht günstiges Resultat. Und nun ersehen wir sofort, welch wichtige Rolle diese Transformatoren bei der Fernleitung spielen; die Dynamomaschine braucht selbst nicht die hohe Spannung zu liefern, sie erzeugt einen Strom von etwa 50—100 Volt, der nicht sonderlich gefährlich ist. Dieser Strom aber wird nun transformiert, für die weite Reise fertig gemacht, d. h. die Spannung wird erhöht auf 15, 20, ja 30 000 Volt, um dann in die Fernleitung zu gelangen, die aus verhältnismäßig dünnem Drahte

besteht. Der Verlust in diesem, der sich durch Erwärmen der Leitung äußert, ist gering, denn er hängt von der Stromstärke ab. Diese aber ist klein, denn die Arbeit, die wir in der Dynamo erzeugen, ist gegeben durch das Produkt aus Stromstärke und Spannung. In demselben Maße, wie wir letztere erhöhen, wird —die Verluste im Transformator abgerechnet — der Strom schwächer. Erzeugen wir einen Strom von 100 Amper bei 100 Volt Spannung, so ist die Arbeit = 10 000 Watt; transformieren wir auf 10 000 Volt, so führt die Fernleitung einen Strom von nur 1 Amper.

Wenn der Strom an seinem Bestimmungsorte anlangt, wird er nochmals transformiert, und zwar nun von der hohen in die niedrige Spannung, wobei natürlich ein gleicher Transformator benutzt wird wie vorher, der aber umgekehrt zu schalten ist. Die auf 110 oder 220 Volt herabgeminderte Spannung gelangt dann in ähnlicher Weise zur Verteilung wie Gleichstrom.

Als erstes großartiges Beispiel einer solchen Fernleitung wurde bereits die Anlage Lauffen-Frankfurt a. Main, 175 km Entfernung, erwähnt. Die Wasserkraft von etwa 200 Pferdekräften des Neckar wurde vermittels Turbinen auf große Wechselstromdynamos übertragen, die einen Strom von 50 Volt Spannung lieferten. Zur Verwendung kam Drehstrom (Seite 52), dies ist, wie wir früher sahen, die Kombination von drei Wechselströmen, die in der Maschine nacheinander erzeugt werden. Jeder Wechselstrom hat, wie wir wissen, die Eigenschaft, in der Sekunde seine Stromrichtung um eine bestimmte Zahl zu ändern und muß dabei von einem Nullwerte zu einem Höchstwerte, der maximalen Stromstärke anwachsen. Werden nun drei Wechselströme nacheinander in der Maschine erzeugt, so folgen auch diese Maxima aufeinander, eine Erscheinung, die es ermöglicht, ein Magnetfeld zu erzeugen, das sich fortwährend um eine Achse dreht und das ja zur Konstruktion jener einfachen Motoren geführt hat. Die Fortleitung dieses Drehstromes bedingt, den drei Wechselströmen entsprechend, drei Leitungen, die aber, wie man sieht, keineswegs mit denen des früher beschriebenen Dreileitersystems zu verwechseln sind.

Die Gesamtstärke in der Lauffen-Frankfurter Leitung betrug 1400 Amper. Die Transformation geschah auf 14 000 Volt, so daß also ein Strom von nur 4,3 Amper fortzuleiten war. Dazu genügten Drähte von 4 mm Durchmesser. Die hohe Spannung bedingte natürlich sorgfältige Isolation, denn mit dem Druck

einer Wasseranlage vergleichbar, sucht sich das gefesselte Element einen Ausweg, wo immer nur die geringste Gelegenheit dazu geboten wird. Deshalb wurden die Porzellanisolatoren unter der Glocke mit Rillen versehen, in die man Öl hineingoß. Dadurch ist verhütet, daß sich eine Wasserhaut zwischen Leitung und der Befestigung des Isolators bildet, so daß dem Strom der Weg abgeschnitten ist.

In Frankfurt wurde der Strom wieder auf 100 Volt herabtransformiert, so daß wieder 700 Amper zur Verfügung standen.

Trotz der mancherlei Umwandlung und der großen Entfernung, betrug der Verlust der elektrischen Energie nur 26,1 %; dieses günstige Ergebnis ermöglicht uns, Naturkräfte auszunützen und an fernen Orten wirken zu lassen, die früher unbenutzt verloren gingen. Es kamen da in erster Linie Wasserkräfte in Betracht, die ja selten an der Stelle des Verbrauchs vorhanden sind. Als neueste Anlage dieser Art haben wir bei Gmünd i. d. Eifel die Urfttalsperre, die ein Gebiet, viele Meilen im Umkreise, mit Strom versorgt, wobei der Fernstrom eine Spannung von etwa 30 000 Volt erlangt.

Welche Naturkraft wäre vergleichbar in bezug auf ihre Verwendbarkeit mit der Elektrizität! Wie läßt sie sich willig bearbeiten, umwandeln, in die Ferne schicken, nach jeder Richtung hin ausnützen, und trotz der ihr innewohnenden Kraft dem Willen des Menschen unterordnen!

7. Kapitel.

Einige Einzelheiten beim Betriebe, die Sicherheitsvorkehrungen, die Kontrole und Regulierung des elektrischen Stromes.

Wer ein modernes Elektrizitätswerk — die Zentrale — betritt, der wird zunächst verwirrt beim Anblick der emsig arbeitenden Maschinen, der zahlreichen Schalter und Hebel, Instrumente und Apparate, und selbst der Fachmann überblickt nicht mit einem Male die Wirksamkeit der tausenderlei Dinge. Demzufolge treten eine Unmenge einzelner Fragen an uns heran, deren Beantwortung im wesentlichen darauf hinausläuft, eine Verbindung mit dem zu suchen, was wir im Innern der summenden Maschinen vermuten und was wir draußen von der Wirksamkeit der Elektrizität kennen gelernt haben.

Wir begeben uns zur Schalttafel, die ja in der Tat die Brücke bildet, über die der Strom von der Quelle zum Netz gelangt, freilich, kompliziert genug sieht es aus. Bedenkt man aber die zu erfüllenden Bedingungen, so erkennt man auch, daß die Anlage kein Kinderspiel sein kann. Soll doch von hier aus der Strom, von den verschiedenen Erzeugungsstellen anlangend, geregelt, geordnet werden, um je nach Bedarf in die verschiedenen Abteilungen des weitverzweigten Leitungsnetzes, bis in die feinsten Äderchen hinein gesandt zu werden. Und welche Anforderungen stellt der verwöhnte Konsument! Die Lampen sollen stets gleichmäßig brennen, kein Zucken der Flamme darf ihn stören, Tag und Nacht muß der Strom ihm in jeder Form zur Verfügung stehen, und welch kolossale Schwankungen im Stromverbrauch können innerhalb weniger Minuten eintreten! Welche Stöße erleidet dann die Elektrizitätsquelle! Diese müssen pariert werden, die sinkende Spannung muß ebenso schnell, als sie erscheint, wieder ausgeglichen, und ebenso das Anschwellen verhütet werden. Jetzt gilt es, den

Überschuß zu bewältigen, aber nicht zu vernichten, dazu ist der Stoff zu kostbar, sondern ihn zu sammeln, ihn aufzuheben für gelegene Zeit. Dann verlangen die Akkumulatoren nach Nahrung, sie werden von einer Maschine gespeist, die eben noch den Strom nach außen sandte. Bald beginnt der Verbrauch derartig zu steigen, daß eine Maschine nicht mehr genügt, eine zweite wird hinzugeschaltet, ein Teil der Batterie hilft nach — und so geht das fort.

Betrachten wir jetzt einige der interessantesten Einzelheiten. Als ein sehr wichtiger Teil des Elektrizitätswerkes für Gleichstrom, kommt die Akkumulatorenbatterie in Betracht. Wenn im Winter die lange Nacht naht, dann erglühen bald die elektrischen Lampen, es wird sehr viel Strom gebraucht, und dieser Strom wird meist direkt von der Maschine des Elektrizitätswerkes geliefert. Wenn es aber heller, lichter Tag ist, dann mindert sich der Konsum beträchtlich; gleichwohl aber müßten die großen Maschinen beständig in Tätigkeit bleiben, um auch diesen geringen Bedarf zu decken. Das ist aber umständlich und auch mit unnützen Kosten verknüpft. Da hilft der Akkumulator. Dieser empfängt den Strom, den die Maschine nicht in das Netz sendet und speichert ihn auf, wodurch es ermöglicht ist, daß die Maschine mit ihrer vollen Belastung arbeitet, was immer am rentabelsten ist. Weiter wird dadurch erreicht, daß die Maschine zeitweilig ruhen kann, wodurch notwendige Reparaturen vorgenommen werden können, ohne daß der Betrieb gestört würde, denn jetzt schaltet man den Akkumulatorenstrom an das Netz, welches auf diese Weise immer unter Strom gehalten werden kann. Endlich ist man auch imstande, bei sehr starker Inanspruchnahme, Maschine und Batterie zusammen wirken zu lassen, was die Anschaffung weiterer Maschinen überflüssig macht.

Eine solche Batterie birgt eine unheimliche Kraft, und man vertraut ihre Regelung nicht allein der Wachsamkeit des Menschen an. Ein Apparat, der selbsttätig dem Strom den Weg versperrt, falls er sich auf verbotene Wege begeben will, ist der automatische Ausschalter. Er ist immer da notwendig, wo eine Akkumulatorenbatterie von der Maschine aus geladen wird. Die Spannung der letzteren ist natürlich höher als die der Batterie, denn es muß beim Laden die elektromotorische Kraft derselben überwunden werden. Sind beide Spannungen einander gleich, so heben sie sich in ihren Wirkungen auf, es fließt kein Strom, und

wenn gar die Spannung der Batterie überwiegt, so muß notwendig der Strom von dieser zur Maschine übergehen, was zur Folge hat, daß die Dynamomaschine als Motor wirkt und die Antriebsmaschine mit sich herumreißen würde. Dieser letzte Fall kann z. B. dann eintreten, wenn beim Laden die Antriebsmaschine aus irgend einem Grunde plötzlich stehen zu bleiben droht; sowie sich ihre Tourenzahl verringert, nimmt die Spannung der Dynamo ab, die der Batterie überwiegt und nun drängt sich der Strom in die Maschine hinein. Dies kann aber zu ernsten Betriebsstörungen führen, auch sonst großen Schaden anrichten, wenn nicht der automatische Schalter einsetzen würde. Derselbe enthält eine Magnetwicklung, durch die der Ladestrom hindurch muß. Das Eisen des Magneten wird dadurch stark erregt und ist imstande, einen Anker der sich an einem Schalthebel befindet, festzuhalten. Tritt der oben erwähnte Fall ein, daß die Betriebsmaschine versagt, läßt also die Maschinenspannung nach, so wird ein Moment eintreten, wo die Ladeleitung stromlos ist; sofort klappt der Anker des Automaten nach unten und zieht durch sein Gewicht den Schalter heraus, wodurch die Strombahn unterbrochen ist.

Eine weitere Schutzmaßregel finden wir in den sogenannten „Sicherungen". Diese sind nicht allein in der Zentrale angebracht, sondern auch an den Stellen, wo überhaupt die Zentrale angeschlossen ist, also namentlich in den Häusern der Stadt. Die Sicherungen sollen einer Überlastung der Leitungen vorbeugen. Aus früherem ist uns bekannt, daß bei genügender Stromstärke der Leiter sich erhitzt, ja, daß man ihn mit Leichtigkeit zum glühen bringen kann, sofern man nur den Strom stark genug wählt. Damit aber der Strom sich verstärke, ist bei einer bestimmten Spannung, — und diese wird ja stets bei Beleuchtungsanlagen möglichst konstant gehalten — nötig, daß der Widerstand der Leitung kleiner und kleiner werde. Die Leitungen als solche besitzen einen nur sehr geringen Widerstand, eben, um die Wärmeverluste auf ein Minimum zu beschränken. Wenn wir nun Lampen oder Motoren einschalten, so wird damit ein entsprechender Widerstand in die Leitung gebracht, der bei einer Glühlampe so stark ist, daß der Faden in Weißgluht versetzt wird, trotzdem nur ein geringer Strom hindurchgeht. Was passiert aber nun, wenn durch irgend ein Unglück, anstelle der Glühlampe, eine direkte metallische Verbindung zwischen den Leitern des Netzes entsteht? Dann hat man jenen berüchtigten Kurzschluß. Der Strom

findet, praktisch wenigstens, keinen Widerstand mehr, und wie bei einem Dammbruch die gewaltigen Wasserfluten dem unerschöpflichen Vorrat entströmen, alles vernichtend, was im Wege steht, so schwillt nun der elektrische Strom zu ungeheuerer Stärke an, die dicksten Drähte spielend zerschmelzend, als wären sie von Wachs. Aber in dieser seiner Wut, alle Fesseln zu vernichten, liegt auch zugleich das Mittel, seinen Lauf zu hemmen, denn mit dem Schmelzen des Leiters und sei es auch nur an einer Stelle, fehlt ihm ja das Mittel, sich fortzubewegen, und so wird er mit einem Schlage zurückgehalten. Aber zu spät würde das zerstörende Element gefesselt werden, wollte man das Unterbrechen durch Schmelzen der Leitung selbst geschehen lassen. Das geeignete Hilfsmittel liegt nahe genug: man schaltet in die Leitung ein Stück Metall, das einen niedrigen Schmelzpunkt hat und so bemessen ist, daß es den in der betreffenden Leitung fließenden Strom trägt, ohne sich zu erhitzen. Entsteht dann Kurzschluß, oder wird ein zu starker Strom der Leitung entnommen, so schmilzt der Schmelzdraht ab, ehe die Leitung sich überhaupt erwärmt.

Anfangs nahm man als Sicherungsmetall Blei; dieses muß indessen verhältnismäßig stark sein, damit es sich beim normalen Stromdurchfluß nicht erhitze. Dadurch aber vergeht eine gewisse Zeit, ehe es abschmilzt, solche Sicherungen sind zu „träge". Heute nimmt man in der Starkstromtechnik fast immer Silberdraht, der wegen seines ausgezeichneten Leitvermögens sehr dünn sein kann und bei dem geringsten Kurzschluß gleich wegschmilzt.

Solche Sicherungen werden meist in Form von Patronen, ähnlich wie eine Glühlampe, in die Leitung eingeschaltet, eine Verrichtung, die ein jeder ohne Mühe und Gefahr selbst vornehmen kann. Man muß nur darauf achten, in die entsprechende Leitung die richtige Patrone einzulegen, denn je nach der Stromstärke, also etwa der Anzahl Lampen, die in einer Leitung vorhanden sind, ist die Stärke der Sicherung natürlich verschieden. Meist ist übrigens die Einrichtung so getroffen, daß man wohl eine kleinere, aber keine zu starke Sicherung einschrauben kann. —

An der Schalttafel bemerken wir noch ein weiteres Instrument, das ein Interesse für uns hat, nämlich den Elektrizitätszähler, der sich ja auch bei jedem Hausanschluß vorfindet und bekanntlich die Aufgabe hat, den Verbrauch der elektrischen Energie anzugeben. Diese setzt sich zusammen, wie bekannt, aus der Anzahl Amper bei einer bestimmten Spannung, ein Produkt, das man

ja Watt nennt. Die Spannung, gewöhnlich 220 Volt, soll sich möglichst gleich bleiben, d. h. konstant sein; praktisch ist dies indessen nicht genau zu erreichen, da sie ja durch den Spannungsverlust in den Leitungen bis zu einem gewissen Grade geschwächt wird, und eben dieser Verlust wieder von der Stromstärke abhängt. Wo aber stets konstante Spannung vorhanden ist, da braucht man nur die Anzahl Amper zu messen, die dann mit jener multipliziert, die Watt ergibt. Oft handelt es sich um Wattstundenzähler, die sowohl den jeweiligen Verbrauch der Stromstärke,

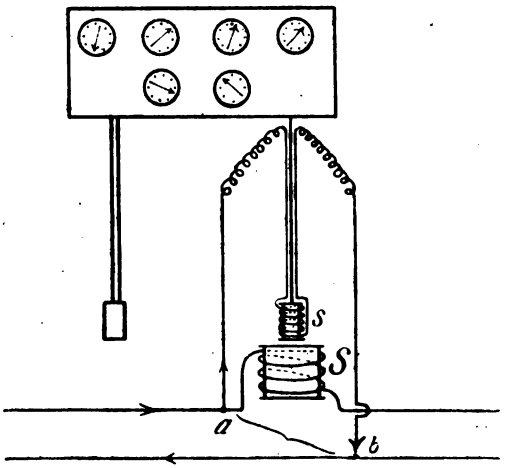


Abb. 38. Wattstundenzähler von Aron.

wie auch die dabei vorhandene Spannung berücksichtigen. Von der Unzahl solcher Zähler greifen wir als Beispiel den von Aron heraus. Dieser beruht auf folgendem. Wir haben, Abb. 38, zwei Uhrwerke, deren Pendel so abgeglichen sind, daß beide Uhren völlig übereinstimmend gehen, und die Pendel gleiche Schwingungsdauer haben.

Der zu messende Strom passiert eine feste Rolle S aus dickem Drahte, dessen Widerstand sehr gering ist. Diese Rolle befindet sich unmittelbar unter dem Pendel des einen Werkes, dessen schwingende Masse zu der Spule s ausgebildet ist, die eine große Anzahl Windungen sehr dünnen Drahtes (Nebenschlußspule) besitzt.

Wenn nun der Strom durch die Leitung fließt, so treten in beiden Spulen magnetische Kräfte auf, da von den Punkten a und b aus ein Zweigstrom zur Spule s gelangt, dessen Leitung dem schwingenden Pendel so mitgeteilt ist, daß die Bewegung dadurch nicht behindert wird. Die Folge des Stromschlusses ist, daß dieses Uhrwerk langsamer geht als das Normalwerk, und zwar in demselben Maße langsamer, als der Strom stärker wird, und in demselben Maße als die Spannung wächst. Die letztere bedingt nämlich allein die Stärke des Stromes in der Nebenschlußspule. Die Änderungen in der Schwingungsdauer übertragen sich auf das Registrierwerk. Dieses ist so eingerichtet, daß die Zeiger nur dann eine Bewegung erfahren, wenn der Gang der Werke nicht übereinstimmt.

Bei einer anderen Art von Zählern treibt man das Zeigerwerk mit Hilfe eines winzigen Elektromotors an; dieser Motor reguliert seine Tourenzahl nach der Stärke des Stromes, eventuell auch der Spannung und läßt dadurch den Verbrauch an Energie erkennen. Endlich noch sind elektrolytische Zähler im Gebrauch, bei denen der Strom eine seiner Stärke entsprechende Menge gewisser Substanzen zersetzt und so ein Maß für die Stromentnahme bietet.

Mittels des Zählers ist das Elektrizitätswerk im stande, den Betrieb zu kontrolieren, indem es dadurch ermöglicht ist, die in einer bestimmten Zeit an das Netz abgegebenen Strommenge aufzuzeichnen, während anderseits durch Berechnung festgestellt werden kann, welche Arbeit und damit welcher Aufwand an Betriebsmaterial, Kohlen usw. zur Erzeugung jener Energie erforderlich war. Auf diese Weise gewinnt man einen Überblick über die beim Betrieb entstehenden Kosten und damit auch die nötigen Unterlagen zur Berechnung des Strompreises.

Je nach der Stärke der Ströme im Netz, treten gewisse Schwankungen in der Spannung auf, die recht störend wirken können[1]). Man wendet deshalb Reguliervorrichtungen an, um Änderungen sofort ausgleichen zu können. Dies geschieht bei dem Akkumulatorenstrom mittels eines sogenannten Zellenschalters, der es dem Wärter ermöglich, durch Zu- oder Abschalten von

[1]) Am auffallendsten zeigt sich dies in einem elektrischen Straßenbahnwagen bei Abendbeleuchtung. Wenn der Wagen anfährt oder starke Steigungen nehmen soll, ist infolge des starken Stromverbrauchs der Spannungsverlust so groß, daß die Lampen plötzlich ganz dunkel brennen.

Akkumulatoren, die man Zusatzzellen nennt, die normale Spannung wieder herzustellen; als Kontrolle dient ihm ein großes Voltmeter.

Auch die Dynamomaschine besitzt eine Einrichtung, welche gestattet, die Spannung dem jeweiligen Stromverbrauch entsprechend, konstant zu erhalten. Zu diesem Zwecke ist die Nebenschlußwicklung der Maschine (Type II, Abb. 23) mit einem Widerstand, dem Nebenschlußregulator, verbunden. Je mehr wir von diesem in den Nebenschlußkreis einrücken, um so mehr schwächen wir den Erregerstrom der Magnete und damit auch den wirksamen Magnetismus, die Spannung sinkt, und umgekehrt läßt sie sich wieder steigern, wenn man den Widerstand ausschaltet.

8. Kapitel.

Schwachstromtechnik; der elektrische Strom im Dienste des Telegraphen- und Telephonwesens.

Haben wir bisher den elektrischen Strom in seiner Stärke, in seiner Macht, spielend ungeheuere Kräfte zu äußern, kennen gelernt, so wenden wir uns jetzt zu einem Gebiete, wo er bescheiden seine Bahn verfolgt, nicht im stande, ernsthaft zu schaden, aber nichtsdestoweniger in dieser Form dem Menschen unentbehrliche Dienste leistet: zu dem Gebiete der Schwachstromtechnik, und während wir dort die innewohnende Kraft vergleichen konnten mit dem Drucke einer starkgespannten Wasserleitung, so können wir hier seine Wirkungen als solche betrachten, wie sie etwa das Bächlein leistet, das keiner großen Arbeitsleistung fähig, dennoch wichtige Aufgaben in der Natur zu erfüllen hat.

Wohl die wichtigste Anwendung dieser Stromart finden wir bei der Telegraphie. Wer hätte es wohl vor hundert Jahren vorausgesagt, daß man heute im stande sei, in wenigen Stunden Gedanken auszutauschen mit Personen, die um die Hälfte des Erdumfanges von uns getrennt sind! Wer würde aber auch wagen, zu behaupten, daß wir heute, ebenso wie damals, ohne diese wunderbare Einrichtung auszukommen vermöchten; ohne diese blitzschnelle Übermittlung des Gedankens wäre es unmöglich, das Eisenbahnwesen zu regeln, wäre das ganze moderne Verkehrswesen unterbunden, und wir müßten auf tausend und wieder tausend Dinge verzichten, ohne die wir in unseren heutigen Verhältnissen nicht zu existieren vermöchten. Und wo sitzt der geheimnisvolle Ursprung dieser Kraft? Hier sind es keine gewaltigen Maschinen, welche die Arbeit verrichten, sondern jene kleinen Elemente, die unscheinbar auf dem Sims stehend, diesen wichtigen Dienst besorgen.

Die ersten praktischen Versuche einer Telegraphie wurden von den deutschen Professoren Gauß und Weber im Jahre 1833

zu Göttingen angestellt. Die Übermittlung der Worte geschah durch Zeichen, und zwar benutzten sie eine Einrichtung, wie wir sie auf Seite 27 bei Besprechung der Induktionsvorgänge kennen gelernt hatten: auf der einen Station wurde ein Magnet in die Spule hineingesenkt (Abb. 15) und wieder gehoben, so daß das Galvanometer entsprechende Ausschläge nach links oder rechts machte. Je nach der Zahl und Richtung dieser Ausschläge ergab sich ein bestimmtes Wort, es war nur nötig, ein entsprechendes Alphabet aufzustellen.

So umständlich dieser Versuch auch war, so legte er doch die Grundlage zu unserem heutigen Telegraphenwesen, und namentlich entwickelte sich daraus ein Apparat, der selbsttätig das übermittelte Wort aufschreibt, sei es nun durch Zeichen oder durch direkten Typendruck. Besprechen wir zunächst die erste Art, den Morseschen Schreibapparat.

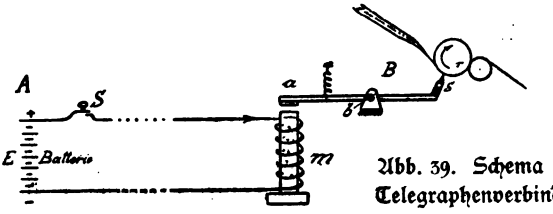


Abb. 39. Schema einer Telegraphenverbindung.

Wir nehmen an, es seien die Stationen A und B in Abb. 39 durch zwei Drähte miteinander verbunden. Auf Station A befinden sich eine Anzahl galvanischer Elemente, eine Batterie E, die wir, wie üblich, durch eine Anzahl großer und kleiner Striche bezeichnen, und ein Stromschließer S, ein sogenannter Taster. Der Empfänger in Station B besteht aus einem Elektromagneten m, dessen Anker a um den festen Punkt b drehbar angeordnet ist und an seinem Ende einen Stift s trägt. Unmittelbar über diesem befindet sich ein Papierstreifen, der während des Telegraphierens durch die Rolle r über s hinweggeführt wird. Wenn nun bei A der Stromschlüssel niedergedrückt wird, so fließt ein Strom um den Magneten, der Anker wird angezogen, der Stift zeichnet einen Strich auf das Papier, und man erhält einen langen oder kurzen Strich, sowie Kombinationen von Punkten und Strichen, je nach dem man den Schlüssel S länger oder kürzer aufdrückt.

Diese primitive Einrichtung bietet freilich noch nicht das Mittel, praktisch verwandt zu werden, und die Mängel werden

wir sogleich bei Besprechung der Einzelheiten kennen lernen. Zunächst ist ersichtlich, daß in unserem Beispiele nur von der Station A aus telegraphiert werden kann, denn für den Ruhezustand ist ja der Schlüssel so gestellt, daß kein Strom in die Leitung eintreten kann. Dieser Schlüssel oder Taster bedarf also noch einer Verbesserung und hat die in Abb. 40 gezeichnete Form.

Der Hebel H dreht sich um die Achse m, die in einer Brücke gelagert ist, an welche die Fernleitung b angeschlossen werden kann. Zwei weitere Brücken gestatten die Drähte a und c anzuklemmen und haben ferner Berührungsflächen c_1 und c_2 auf die entsprechenden Stifte des Hebels aufdrücken können. Im Ruhezustand wird der Taster durch eine Feder f nach links her-

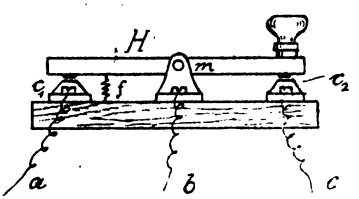


Abb. 40.
Morsetaster.

untergezogen, so daß er bei c_1 einen Stromschluß, einen Kontakt bildet. Die drei Klemmen für a b und c sind voneinander durch das Fußbrettchen isoliert.

Ein solcher Taster befindet sich auf jeder der beiden Stationen, wie denn überhaupt hier wie dort die Einrichtungen genau miteinander übereinstimmen. Um die Wirkung des Tasters zu verstehen, müssen wir noch die sogenannte „Erdung" der Leitungen besprechen. Wir wissen ja, daß ein elektrischer Strom eine Hin- und Rückleitung nötig hat, also zwei Leiter beansprucht. In der Schwachstromtechnik benützt man nun als Rückleitung die Erde. Diese bietet ja allerdings dem elektrischen Strom bei geringem Querschnitt einen gewissen Widerstand, sie wird aber zu einem guten Leiter, wenn man ihre Masse ausnützt, d. h. wenn man die Zuleitungen mit großen Platten versieht und diese dann, je nach Beschaffenheit des Bodens, 2—6 Meter tief in feuchtes Erdreich versenkt; auf diese Weise spart man einen Draht, was auf große Entfernung schon recht viel ausmacht. Wie beide Stationen unabhängig voneinander verkehren können, ersehen wir aus Abb. 41. Wir nehmen den Fall, es soll von A nach B telegraphiert werden. Der Taster A wird, entsprechend der Zeichengebung, niedergedrückt,

und der Strom findet seinen Weg, von der Batterie E kommend, zur Fernleitung, passiert den Taster B und gelangt dann zum Schreibapparat, der in der Abb. durch die Spule b angedeutet ist. Von dort verfolgen wir weiter die Strombahn bis zur Grundplatte P_1; dann liefert die Erde die Leitung bis zur Platte P, von wo aus endlich der Strom wieder zur Batterie zurückkehrt. Wie man sieht, läßt sich durch Vermittlung der eigentümlichen Taster genau dasselbe von Station B aus erreichen.

Wir kommen jetzt zu weiteren bemerkenswerten Einzelheiten. Wenn nämlich der Strom die Fernleitung, manchmal Tausende von

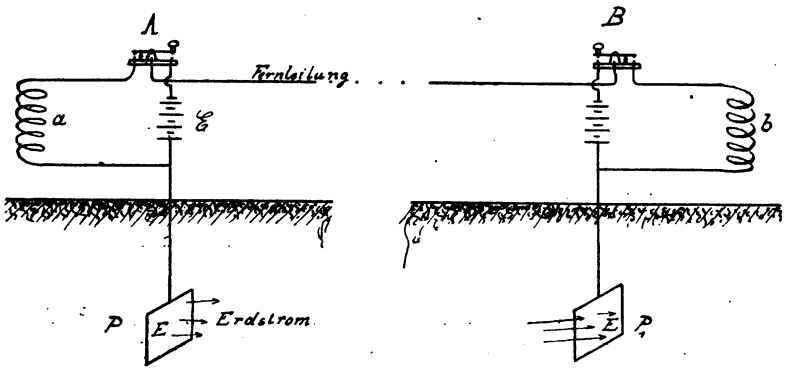


Abb. 41. Verbindung zweier Stationen.

Kilometern, passiert hat, so hat er wegen des großen Widerstandes der Leitung erheblich an Kraft verloren, er ist ermattet und muß sich erst an der Ankunftsstelle erholen. Diese Erholung wird ihm durch Vermittlung eines Apparates zu teil, den man Relais nennt. Der Schreibapparat wird nämlich nicht direkt durch den Fernstrom betätigt, sondern durch den Strom einer eigenen Batterie, der Lokalbatterie. Das Relais sorgt dafür, daß der Stromkreis der letzteren genau so geschlossen wird, wie es der Taster an der Geberstation für die Fernleitung tut, und zwar, wie Abb. 42 schematisch zeigt, auf folgende Weise.

Der Fernstrom erregt den äußerst empfindlichen Elektromagneten M, der den leicht beweglichen Anker A anzieht und den Stromschluß der Lokalbatterie bei c bewirkt. Es genügt also ein sehr schwacher Strom der Fernleitung, um den eigentlichen Arbeits-

strom ein- und auszuschalten, den Schreibapparat b also zu betätigen. Wollte man die Einrichtung umgehen, so müßte der Fernstrom beträchtliche Spannungen besitzen, was zu allerhand Unzuträglichkeiten führen würde. — Gehen wir jetzt zur Besprechung des Telegraphenapparates selbst über. Dieser nach seinem erstmaligen Konstrukteur, allgemein Morseschreiber genannt, besteht aus zwei wesentlichen Teilen, nämlich aus einem elektrischen, der die Aufgabe hat, durch die Stromimpulse einen Schreibhebel zu bewegen, und einem Räderwerk, welches einen Papierstreifen gleichmäßig über den Schreiber hinwegführt.

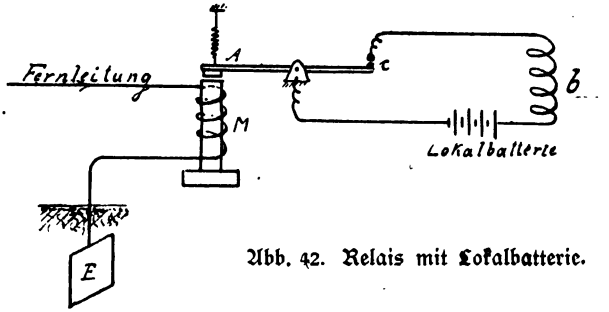


Abb. 42. Relais mit Lokalbatterie.

Wie Abb. 43 zeigt, wird durch den Hebel H, entsprechend der Erregung des Elektromagneten M das Rädchen r gehoben oder gesenkt. Mit seinem unteren Teile taucht dieses Rädchen in einen Farbstoff K ein, und da es durch das Uhrwerk mitgedreht wird, ist es immer gleichmäßig benetzt. Die große Rolle R liefert einen schmalen Papierstreifen, der um die Walzen m und n herumgewunden ist und durch Drehung derselben über das Farbrädchen hinweggeführt wird.

Die Benachrichtigung der Telegraphisten geschieht durch das sogenannte Rufen, das aus bestimmten Zeichen besteht, die der Beamte aus dem entsprechenden Aufschlagen des Ankers A durch das Gehör wahrnimmt. Nun setzt er das Räderwerk in Gang, sofern nicht eine selbsttätige Auslösung vorgesehen ist, indem der Drücker D umgelegt wird, wodurch die Räder frei werden, und das Telegraphieren kann beginnen. Jeder Buchstabe des Alphabets, sowie die Zeichen und Zahlen sind gekennzeichnet durch Striche und Punkte, zum Beispiel:

a	b	h	m	x
•—	—•••	••••	——	—••—

1 2 5 6 0

Diese Zeichen werden durch den Taster durch kurzes oder langes Aufdrücken der Empfangsstation übermittelt und wie besprochen auf den abrollenden Papierstreifen aufgedruckt. Die Handhabung der Apparate muß natürlich erlernt werden.

Ein gewisser Mangel des Morseapparates besteht darin, daß zur Aufzeichnung der Worte ein sehr langer Papierstreifen

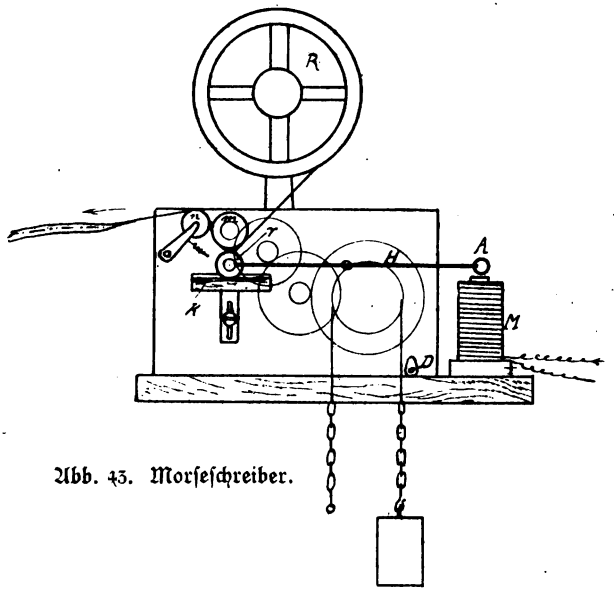


Abb. 43. Morseschreiber.

nötig ist, und die Aufnahme einer Depesche ziemlich viel Zeit erfordert. Es sind zahlreiche Versuche gemacht worden, diesem Übelstand dadurch abzuhelfen, daß man direkt Buchstaben benutzt, welche die entsprechenden Worte drucken. Die Erfindung eines Apparates, der diesen Bedingungen sicher und zuverlässig nachkommt, war keine Kleinigkeit, und es mußten manche sinnreiche Konstruktionen verworfen werden, ehe sich einer, und zwar der von Hughes, als brauchbar erwies. Wie man aus der Zeichnung, Abb. 41, sieht, hat man zum Betriebe des Morseschreibers nur einen einzigen Draht nötig, und das gleiche wurde auch vom

Typenschreiber verlangt. Deshalb konnten solche Konstruktionen, bei denen jeder Buchstabe seinen eigenen Draht benötigt, gar nicht in Betracht kommen. Die ersten, einigermaßen brauchbaren Apparate, die aber nicht aufschrieben, sondern nur zum direkten Ablesen eingerichtet waren, beruhten auf folgendem. Ein Elektromagnet mit Anker und Hebel wurde durch den Strom gerade so betätigt, wie etwa der Hebel des Morseschreibers. Dort, wo bei diesem das Farbrädchen sich befindet, war ein Haken am Hebel angebracht, der federnd in den Zahn eines Sperrades eingriff und bei einer Bewegung dieses Rad jedesmal um einen Zahn weiter drehte. Mit dem Sperrad verbunden war ein Zeiger, der über einem Zifferblatt spielte, das die Buchstaben und sonstigen Zeichen enthielt, deren Anzahl der der Zähne des Sperrades entsprach. Man erkennt leicht, daß ein Druck des Tasters auf der Sendestation den Zeiger um einen Zahn weiter bewegt, und da sich auf dieser Station ein gleiches Werk mit Zeiger befindet, welches sich ebenso bewegt, so kann der Telegraphist durch entsprechende Tasterbewegung und Beobachtung der Zeigerstellung, die gewünschten Buchstaben nacheinander unter den Zeiger bringen und so die Worte der Fernstation übermitteln.

Diese Einrichtung war aber sehr unzuverläßig, sie konnte leicht aus dem Takte kommen, und dann war eine Verständigung nicht mehr möglich; außerdem hatte man für die Richtigkeit der Übermittlung keine weiteren Belege als das Gedächtnis des Beamten, keine Aufzeichnungen, so daß dieses System nicht eingeführt werden konnte.

Nach vielen Versuchen gelang es nun Hughes, der Aufgabe gerecht zu werden, und seine Typendrucktelegraphen sind heute auf fast jeder größeren Station vorhanden. Welche Mühe und Arbeit die Lösung dem Erfinder gekostet hat, das erkennt man, wenn man einen solchen Apparat betrachtet, aber auch die Überlegung lehrt schon, daß es sich um einen bei weitem kunstvolleren Apparat handeln muß, wie bei dem oben erwähnten. Man verlangt nicht allein absolute Zuverlässigkeit, sondern auch schnelle Abfertigung und stellt ferner noch die wichtige Forderung, daß man imstande sei, den Apparat schnell wieder einregulieren zu können, falls er einmal aus dem Takt kommt. Der Hughessche Apparat besteht im wesentlichen aus folgenden Teilen. Ein Typenrad, das sämtliche Zeichen an seinem Umfange besitzt, wird durch ein Räderwerk in Bewegung gesetzt. Durch Vermittlung eines

Elektromagneten wird in einem gegebenen Momente dieses Rad festgehalten und ein Papierstreifen gegen das betreffende Zeichen angedrückt. Selbstverständlich sorgt eine Farbrolle dafür, daß die Typen immer mit Druckerschwärze benetzt werden. Auch hier haben wir wieder auf beiden Stationen die gleichen Apparate und dieselbe Aufstellung. Das Telegraphieren geschieht mit Hilfe einer Klaviatur auf deren Tasten, ähnlich wie bei einer Schreibmaschine, die Zeichen aufgeschrieben sind. Wird eine Taste niedergedrückt, so läuft sowohl an der Sende-, wie auch der Empfangsstation das Uhrwerk des Apparates ab und zwar beide gleichmäßig, bis der entsprechende Buchstabe sich unten befindet und zum Druck gelangen kann. Man erkennt, daß beide Werke in ihrer Umlaufgeschwindigkeit völlig übereinstimmen müssen, weil sonst notwendig unrichtige Zeichen an die Druckstelle der Empfangsstation gelangen und die Depesche sinnlos werden müßte. Daher sind die Apparate mit äußerst sinnreichen und feinen Regulierungsmechanismen ausgestattet, die dieses Gleichlaufen oder den Synchronismus erhalten oder sofort herzustellen gestatten.

Um die Abfertigung möglichst zu beschleunigen, läuft das Typenrad sehr schnell rund. Oft genug kann es nämlich vorkommen, daß der folgende Buchstabe eines Wortes auf dem Typenrade dem vorhergehenden benachbart ist, aber schon die Druckstelle passiert hat, und da sich das Uhrwerk nur in einem bestimmten Sinne drehen kann, würde es zu viel Zeit erfordern, wenn sich das Druckerrad langsam herumdrehte, bis der gewünschte Buchstabe zur Stelle ist. Bei einer Geschwindigkeit von über 100 Umdrehungen in der Minute kommen aber solche Zufälligkeiten nicht in Betracht.

Das Telegraphensystem auf dem Festlande war schon viele Jahre im Betrieb, ehe es gelang, Verbindungen mit Ländern herzustellen, die durch das Meer voneinander getrennt sind. Es hatte dieses seinen Grund zunächst in der Schwierigkeit und den enormen Kosten der Kabellegung. Ein Kabel, das den kupfernen Leitungsdraht enthält, muß diesen nicht allein sorgfältig isolieren, also vor allem vor Feuchtigkeit bewahren, sondern ihm auch Festigkeit verleihen um nicht zu reißen und ihn vor mechanischen Beschädigungen zu schützen. Im Jahre 1857 wurde der erste Versuch gemacht, ein Kabel zwischen Europa und Amerika zu legen, aber kurz nach Beginn des Unternehmens riß dasselbe. Das gleiche Schicksal ereilte ein zweites und drittes Kabel und erst, nachdem ein glücklich verlegtes Kabel nach kurzer Zeit zerstört wurde, ge-

lang das große Werk im Jahre 1866. Nach dieser Zeit sind noch eine Reihe weiterer Verbindungen zwischen den transatlantischen Ländern hergestellt worden.

Aber mit der Verlegung der Leitungen war das Problem des Telegraphierens über den Ozean hinweg noch keineswegs gelöst, es standen vielmehr noch ganz unerwartete Schwierigkeiten bevor. Diese wurden durch eigentümliche Erscheinungen veranlaßt, die ihre Ursache in der sogenannten Kondensatorwirkung haben, die wir zunächst besprechen wollen.

Es war schon früher einmal kurz die Rede von Leydener Flaschen, in die man eine gewisse Menge Elektrizität hinein-

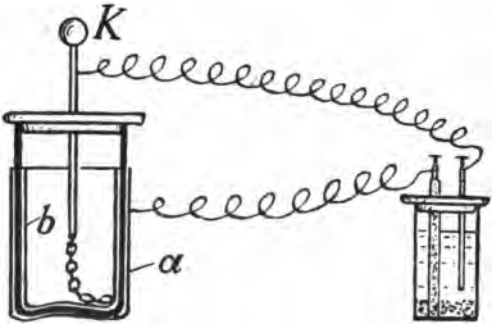


Abb. 44.

füllen kann. Eine solche Flasche stellt die gebräuchlichste Form eines Kondensators dar, der ganz allgemein aus zwei Metallplatten besteht, die voneinander durch eine nicht leitende, also isolierende, Zwischenschicht von einigen mm Dicke getrennt sind. Die beiden Metallplatten, die sehr dünn sein können, nennt man Belegungen, und diese sind bei der Leydener Flasche dadurch gebildet, daß man Zinnfolie (sogen. Silberpapier) an die innere und äußere Glaswand anklebt, wobei dann das Glas die isolierende Schicht bildet. Abb. 44 zeigt eine solche Flasche, die uns übrigens auch noch bei einer späteren Gelegenheit interessiert; a ist die äußere, b die innere Belegung. Die letztere ist mittels einer unten aufliegenden Kette und einer Metallführung durch den Holzdeckel mit der Kugel K verbunden. Wie uns noch in der Erinnerung ist, kann man eine solche Flasche laden, wenn man die beiden Belegungen mit den Polen einer Elektrizitätsquelle verbindet: es

strömt dann eine gewisse Menge Elektrizität auf die Belegungen über und verdichtet, kondensiert, sich dort. Die Spannung, die eine solche Flasche oder allgemein ein geladener Kondensator besitzt, ist immer gleich derjenigen der Elektrizitätsquelle, die zum Laden diente. So beträgt dieselbe, wenn wir etwa, wie in der Abbildung, ein Salmiakelement anlegen, ca. 1,4 Volt, sie würde 1000 Volt betragen, wenn wir die Zahl der Elemente entsprechend vermehrten usf. Die Aufnahmefähigkeit für Elektrizität hängt von der Größe des Kondensators, sowie von dem Material und der Dicke der Zwischenschicht ab; diese Größe nennt man Kapazität.

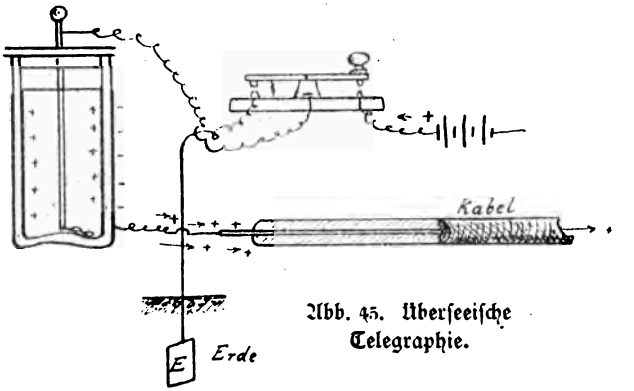


Abb. 45. Uberseeische Telegraphie.

Betrachten wir nun ein Ozeankabel, so finden wir eine auffallende Ähnlichkeit zwischen diesem und einer Leydener Flasche. Es ist nämlich der eigentliche Leiter mit einer gut isolierenden Substanz umgeben, die wiederum durch Stahlmantel und eine eiserne Umflechtung geschützt ist. Der Kupferleiter bildet also die innere Belegung einer Flasche, dann folgt die Guttaperchaschicht, welche die Stelle der Glaswand vertritt und endlich sehen wir in der Stahlpanzerung die äußere Belegung, die bei dem fertig verlegten Kabel mit dem Ozeanwasser und der Erde in leitender Verbindung steht.

Was geschieht nun, wenn wir uns in Abb. 41 die Fernleitung in Luft durch ein solches Kabel ersetzt denken? Dann wird im Moment des Stromschlusses, etwa auf Station B, analog der Abb. 41 der Kupferleiter des Kabels, also die innere Belegung mit dem einen Pol der Batterie verbunden, was zur Folge hat,

daß zunächst das Kabel, diese kolossale Leydener Flasche, geladen wird. Wegen der enormen Kapazität dieses Kondensators aber, dauert das Aufladen einige Zeit, wodurch unangenehme Verzögerungen entstehen. Wenn aber nun der Taster in B gehoben wird, so entlädt sich die angehäufte Elektrizität rückwärts durch den Apparat der Station B und setzt diesen natürlich in Tätigkeit, was keineswegs beabsichtigt ist. Sollte sich das Telegraphieren praktisch ausführen lassen, so mußte natürlich zunächst diese Störung beseitigt werden, und manch findiger Kopf, namentlich auch Werner v. Siemens, beschäftigte sich mit der Ausführung dieser Kompensationsmaßregel. Für kleinere Strecken benutzt man die sogenannten *polarisierten* Apparate; diese haben die Eigenschaft, daß der Anker des Elektromagneten nur dann angezogen wird, wenn Strom einer *bestimmten* Richtung durch die Spule fließt, ein Rückstrom also nicht zur Geltung kommt. Man hatte auch wohl eine Einrichtung getroffen, durch die jedesmal dann, wenn der Entladestrom des Kabels, der „*Rückstrom*" einsetzte, ein entsprechender Gegenstrom aus einer besonderen Batterie diesem entgegengeschickt wurde, seine Wirkung also aufhob. Aber bei dieser Anordnung ist es nicht so leicht, die Verhältnisse genau abzuwägen, man fand aber auch bald ein Mittel, welches ein exaktes Arbeiten gestattet. Dieses besteht darin, daß man eine große Batterie von Leydener Flaschen zwischen Senderstation und Kabel einschaltet.

Die sich dabei abspielenden Vorgänge sind die folgenden. Wir verbinden die innere Belegung der Leydener Flasche — wir nehmen der Einfachheit halber nur eine an — mit der Sendeleitung. Wie Abb. 45 zeigt, ist weiter die äußere Belegung mit dem Leitungsdraht des Kabels verbunden. Wenn nun telegraphiert werden soll, so wird durch den Tasterdruck ein Pol, sagen wir der positive, der galvanischen Batterie mit der inneren Belegung verbunden, wodurch diese auch positiv geladen wird. Diese Ladung wirkt aber auf die benachbarte äußere Belegung wie man sagt, „*influenzierend*" ein. Das haben wir so zu verstehen: die äußere Belegung war zuerst ungeladen, d. h. positive und negative Elektrizitäten befinden sich auf der Oberfläche in ungeordnetem Zustande, wodurch die Wirkung der einzelnen aufgehobenen werden. Nun hat aber ein geladener Körper das Bestreben, gleichnamige Elektrizität abzustoßen, ungleichnamige dagegen anzuziehen, so daß durch die vermöge des Stromschlusses erfolgte

positive Ladung sofort die negative Elektrizität der äußeren Belegung angezogen, die der positiven dagegen abgestoßen wird: die Elektrizitäten werden geordnet und die positive begibt sich in das Kabel, trifft an der Empfangsstation, die wieder die gleiche Einrichtung besitzt, auf die äußere Belegung der dortigen Flasche und bewirkt nun umgekehrt einen Stromfluß von der inneren Belegung durch den Apparat zur Erde. Sowie jetzt der Sendestrom unterbrochen wird, ist in demselben Momente durch die uns bekannte Einrichtung des Schlüssels nun auch beim Sender die innere Belegung der Flasche mit der Erde verbunden, die Elektrizität fließt ab. Sofort gleichen sich nun wieder durch die Influenzwirkung die vorhin getrennten Elektrizitäten aus: die positive strömt aus dem Kabel zurück, sich mit der negativen, der äußeren Flaschenbelegung vereinigend, sie neutralisieren sich wieder, und das Spiel kann von neuem beginnen.

Wir haben hier ziemlich komplizierte Verhältnisse angetroffen, die aber sehr interessant sind, zumal da sie zeigen, wie eine schädliche Wirkung durch eine andere, die derselben Ursache entstammt, aufgehoben wird, das Übel wird gewissermaßen durch Gegengift beseitigt.

Nachdem wir jetzt die wesentlichsten Punkte der Telegrapheneinrichtungen kennen gelernt haben, wollen wir uns nun zu dem nicht minder interessanten Gebiete des Fernsprechwesens wenden.

Das Telephon.

Obwohl man in der Telegraphie ein vorzügliches Mittel besitzt, im Augenblick mit fernwohnenden Personen zu verkehren, so wird diese Errungenschaft noch weit übertroffen durch die allgemeine Einführung des Telephons, die es uns ermöglicht, auf meilenweite Entfernung hin Gespräche zu führen.

Um die Zeit der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts gelang es einem Amerikaner, Graham Bell, einen Apparat zu konstruieren, der es gestattete, Worte auf elektrischem Wege in die Ferne zu senden. Es ist dies eine überaus sinnreiche und interessante Anwendung von Naturgesetzen und zwar der Induktionserscheinungen, die wir ja auch früher schon öfters besprochen hatten. Wie wir uns erinnern, kommt ja bei diesen Erscheinungen

ein Gesetz zum Ausdruck, welches besagt, daß immer in einem Drahte ein Strom entsteht, wenn sich derselbe in einem magnetischen oder elektrischen Kraftfeld befindet und entweder dort die Kraftlinien schneidet oder aber, was auf dasselbe herauskommt, wenn Kraftlinien entstehen oder vergehen, kurz, irgend welchen Veränderungen unterworfen sind. Um diese Ströme für seine Zwecke auszunützen, verfuhr Bell folgendermaßen. Er stellte sich das veränderliche Kraftfeld dadurch her, daß er vor den Pol eines mit einem Polstück aus weichem Eisen armierten Stahlmagneten eine dünne Eisenplatte M brachte, die in Schwingungen versetzt werden konnte. (Abb. 46.) Das Eisenstück F sendet vermöge der magnetisierenden Wirkung des Stahlmagneten Kraftlinien in den Raum, und ist in diesem Luft vorhanden, so verlaufen sie in

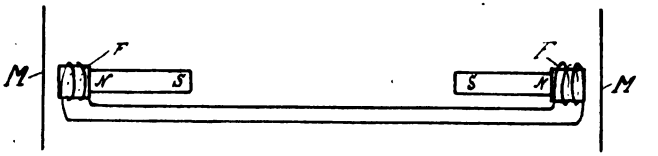


Abb. 46. Das Bellsche Telephon.

bestimmten Kurven, wie wir es in Abb. 13 sahen. Bringt man aber Eisen in die Nähe, so ändert sich sofort die Bahn dieser Kurven, die Kraftlinien ziehen sich zum Eisen hinüber und tun dies um so energischer, als man es dem Magneten nähert. Durch ein solches Nähern und Entfernen ändert sich aber jedesmal die Richtung und Zahl der Kraftlinien, und selbst die geringste Bewegung der in der Abb. angedeuteten Eisenplatte M bringt eine Änderung im Kraftfeld hervor. Wenn man jetzt um den Polansatz des Stahlmagneten eine große Anzahl feiner Drähte herumwindet, so müssen, den Schwankungen des Feldes und den dadurch gleichfalls bedingten Schwankungen des Magnetismus im Eisenkern entsprechend, Ströme in der Spule entstehen.

Wenn man gegen die dünne Eisenplatte M spricht, so wird diese in Schwingungen versetzt, ähnlich wie das straffgespannte Trommelfell beim Auftreffen des Schlägers. Nun weiß man aus der Lehre vom Schall, der Akustik, daß ein Ton dadurch zustande kommt, daß Luft oder irgend welche Materie in Schwingungen versetzt wird. Wir haben also hier etwas ganz ähnliches, wie wir es früher bei der Besprechung des Lichtes angetroffen haben.

Dort lernten wir jene Ätherschwingungen kennen, die wir als Licht empfinden, und geradeso wie dort, so können wir auch hier von Wellenlängen sprechen, nur mit dem Unterschiede, daß diese Wellen ganz bedeutend länger sind und zu ihrer Fortpflanzung der Materie bedürfen, im leeren Raum, im Äther also nicht existieren können. Und wie wir beim Lichte sahen, daß die Länge einer Welle die verschiedenen Farben bedingen, so lehrt uns die Akustik, daß die Wellenlänge beim Schalle maßgebend für die Tonhöhe ist. Mit der Wellenlänge identisch ist die Zahl der Schwingungen in der Sekunde, so daß also beim Telephon, je nach den Schwingungen der Eisenplatte, ein bestimmter Ton entstehen muß.

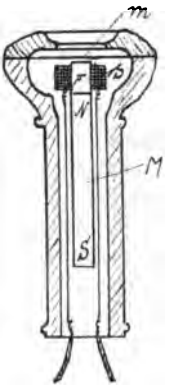


Abb. 47.
Schnitt durch
ein Telephon.

Nach dieser kurzen Darlegung können wir ohne weiteres die Wirkung der Telephonanlage in Abb. 46 verstehen. Dort sind zwei Stationen durch Zuleitungen miteinander verbunden und zwar ist auch hier wieder die Anordnung auf beiden Stationen die gleiche: derselbe Strom, der durch Induktion in Spule A entsteht, muß auch auf Station B die Spule des Telephons durchfließen, und da die in den Spulen und in der Fernleitung fließenden Ströme in ihrer Stärke und Richtung ganz genau von den jeweiligen Schwingungen der Eisenplatte, der „Membran", des erregten Telephons abhängen, so folgt unmittelbar, daß auch die Membran auf der Empfangsstation von den jeweiligen Strom- und Magnetänderungen beeinflußt, genau dieselben Schwingungen ausführt, wie die Membran der Sendestation, und werden diese Schwingungen etwa durch Worte, die gegen die Membran gesprochen

werden, erregt, so vernimmt man diese an der jenseitigen Station mit überraschender Deutlichkeit, ja, es läßt sich sogar die Stimme des einzelnen dabei erkennen. Betrachten wir jetzt die Details eines Telephons. Der Magnetstab M, Abb. 47 ist in ein Gehäuse aus Hartgummi oder Holz eingeschlossen. Der eine Pol dieses Stahlmagneten ist mit einem Polstück F versehen, das die Spule s, aus vielen Windungen dünnen Drahtes gebildet, trägt. Unmittelbar über dem Polansatz befindet sich die feine Eisenmembran M, die durch eine Verschraubung des Deckels am Gehäuse gleichmäßig am Umfange eingespannt ist, so daß die Mitte sich frei bewegen kann, also alle möglichen Schwingungen auszuführen imstande ist. Die Zuleitungsschnüre zur Spule und von dort zur Fernleitung sind gewöhnlich unten am Gehäuse eingeführt.

Wie ersichtlich, hat man zum Betriebe einer solchen Fernsprecheinrichtung keinerlei fremde Stromquellen, keine Elemente oder Maschinen nötig. So angenehm aber auch dieser Umstand bei kleinen Anlagen empfunden wird, so ist doch damit ein sehr großer Nachteil verknüpft, nämlich der, daß die erzeugten Ströme, die ja so winzigen Kräften ihre Entstehung verdanken, äußerst schwach sind, so schwach, daß sie nicht imstande sind, den Widerstand in längeren Leitungen zu überwinden. Das Telephon bedurfte deshalb noch einer Verbesserung und diese fand sich bei der Konstruktion des Mikrophons.

Das Mikrophon.

Die Besprechung des Mikrophons führt uns zunächst zu einer Art von Stromschwankungen, die dadurch zu stande kommen, daß im Stromkreise einzelne Leiterteile mehr oder weniger gut miteinander verbunden sind, im unvollkommenen Kontakte stehen. Um uns von dem Vorhandensein solcher Stromschwankungen zu überzeugen, führen wir folgenden Versuch aus. Es sei in Abb. 48 der Strom eines galvanischen Elementes durch ein Telephon und eine Einrichtung geschlossen, die wir rechts erblicken. Diese besteht aus zwei Metallschinen, $m\,m_1$, die auf einem Brettchen befestigt sind, über die man einen Nagel als Brücke lose hinübergelegt hat. Die geringsten Erschütterungen am Brettchen bewirken, daß der Nagel mehr oder weniger stark auf die Schienen aufdrückt,

seine Lage etwas verändert, und dadurch wird jedesmal der Übergangswiderstand an der Auflagestelle geändert. Nun erkennen wir wieder aus dem Ohmschen Gesetz, das uns schon manchen Dienst geleistet hat, daß jede Änderung des Widerstandes eines Stromkreises bei gleichbleibender Spannung eine entsprechende Änderung der Stromstärke nach sich zieht und daraus folgt, daß die Telephonmembran auch Schwingungen ausführt, die ihre letzte Ursache in den Erschütterungen der Holzplatte haben. Legt man z. B. eine Uhr auf das Holzbrett, so vernimmt man deutlich das Ticken derselben, wenn man das Ohr an das Telephon bringt.

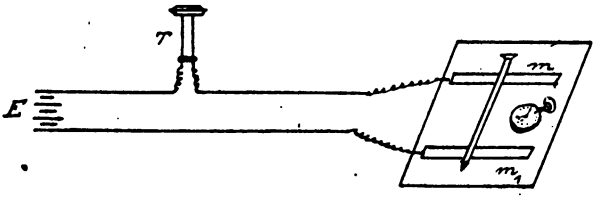


Abb. 48. Prinzip des Mikrophons.

Wenn auch diese Übertragung noch zu roh ist, um Worte deutlich hörbar zu machen, so sehen wir doch schon an diesem äußerst einfachen Versuch, wie die Übertragung von Tönen möglich ist und haben dabei das Mittel kennen gelernt, den Strom beliebig mittels einer besonderen Stromquelle verstärken zu können. Die praktische Ausführung eines solchen Mikrophons stammt wieder von Hughes. Als unvollkommenen Kontakt benutzte er Kohlenstäbchen, die lose miteinander verbunden waren. (Abb. 49.) Das Kohlenstäbchen K wird zwischen zwei Kohlenblöcke b b' gebracht, die kleine Aushöhlungen haben, in welche sich der Stab mit seinen Spitzen hineinlegt. Das Ganze befindet sich an einem dünnen Brettchen, das die Stelle der Membran vertritt und gegen welche man spricht. Es wird aber der Mikrophonstrom nicht direkt in die Fernleitung gesandt, sondern er passiert zunächst die Primärspule eines Induktors, der als Transformator wirkt und dieselbe Aufgabe zu erfüllen hat, wie auf Seite 77 für Starkstrom besprochen. Es wird also die Sekundärspule mit der Fernleitung verbunden, die ihrerseits wieder an der Empfangsstation eine gleiche Spule besitzt, die zur nämlichen Anordnung gehört.

Das Hughesche Mikrophon wurde bald verbessert. Es wird

nämlich der Ton durch Anbringen mehrerer solcher Kontaktstellen verstärkt und verschärft, woraus sich die Konstruktion des Stäbchenmikrophons ergab: dort ist eine Reihe von Kohlenstäbchen quer über eine ähnliche Reihe gelegt, wodurch sich eine Summe von Übergangsstellen ergibt. Eine andere Anordnung treffen wir beim Körnermikrophon, bei dem die Kontaktstellen durch eine Anzahl lose gegeneinander lagernder kleiner Kohlekügelchen gebildet werden.

Eine Fernsprecheinrichtung der beschriebenen Art erfordert, wie wir sahen, außer dem Telephon, das ausschließlich zum Hören

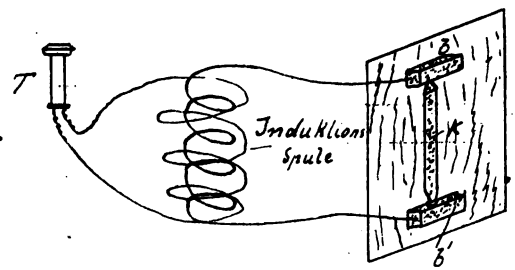


Abb. 49.
Mikrophon.

dient noch ein Mikrophon zur Aufnahme der gesprochenen Worte. Außerdem hat man zum Betriebe eine Batterie nötig. Für diese wäre es freilich sehr ungünstig, wollte man den Strom immer im Mikrophonstromkreise eingeschaltet lassen; es ist deshalb an jeder Station eine Schallvorrichtung angebracht, die den Strom nur dann zuläßt, wenn das Telephon gebraucht wird. Dadurch ist aber noch nicht allen Bedingungen Genüge geleistet, es ist vielmehr noch eine Einrichtung nötig, die es gestattet, jederzeit von einer Telephonstation aus die andere zu benachrichtigen, daß man zu sprechen wünsche, sie „anzurufen". Im Prinzip würde eine entsprechende Einrichtung allerdings keine Schwierigkeiten bieten, man brauchte ja nur durch eine besondere Klingelleitung beide Stationen miteinander zu verbinden. Das würde aber noch eine Reihe weiterer Leitungen nötig machen und wäre vollends da undurchführbar, wo es sich um ein Fernsprechnetz von vielen hundert Abonnenten handelt. Es müssen also alle diese Manipulationen sich mit Hilfe eines einzigen Drahtes bewerkstelligen lassen, was allerdings eine Anzahl Schalter auf beiden Stationen nötig macht. Wäre nun die Bedienung dieser Schalter auf Laien-

hand angewiesen, so würde gar bald alles in Unordnung geraten und die allgemeine Einführung des Telephons wäre unmöglich. Durch eine sinnreiche Einrichtung ist es aber gelungen, daß sich die erforderlichen Schaltungen ganz von selbst herstellen, sowie jemand zu sprechen wünscht. Er muß nämlich zu diesem Zwecke den Hörer, also das Telephon, von einem Haken, der sich am Mikrophonkasten befindet, abnehmen, um ihn zum Ohr zu führen. Dieser Haken aber ist als Winkelhebel ausgebildet, er ist für gewöhnlich durch das Gewicht des Telephons niedergezogen. Sowie aber dieses entfernt wird, dreht sich der Hebel und nimmt dabei selbsttätig die nötigen Verbindungen vor: er schaltet die Batterie

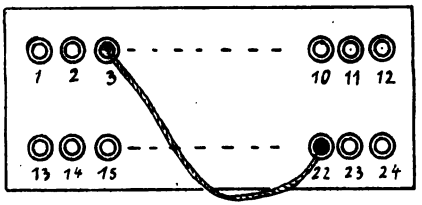


Abb. 50.
Linienwähler.

in den Mikrophonkreis, löst die Verbindung der Klingelleitung, die von außen her zum Anrufen gedient hat und schaltet gleichzeitig die Fernleitung in den Telephonstromkreis ein, so daß nunmehr das Gespräch beginnen kann.

Wir haben bisher stillschweigend angenommen, daß die beiden Telephonstationen unmittelbar durch eine Leitung miteinander verbunden seien. Dies ist aber nur da zulässig, wo es sich um kleine Bereiche handelt; im Großverkehr, in Städten, ja selbst in Fabriken, wo ja eine große Menge verschiedener Stationen miteinander verkehren sollen, wäre es ganz unmöglich, jede Einzelstation mit der Summe der anderen zu verbinden. So hätte man z. B., um diesem Zweck zu genügen, bei nur 100 Teilnehmern $100 \times 100 = 10000$ Leitungen nötig! Man umgeht diese Schwierigkeit durch Einführung der **Vermittelungsämter**. Dort, meist auf dem Postamte, werden die gewünschten Verbindungen erst hergestellt und zwar bedient man sich dabei eines sogenannten **Linienwählers**. Es seien in Abb. 50 etwa 24 Abonnenten an den Fernsprecher angeschlossen. Von jedem Abonnent führt ein Draht zu einer Metallhülse, einem „Steckkontakt", der die betreffende Nummer trägt. Nehmen wir an, Abonnent Nr. 3 wolle mit Nr. 22

sprechen, so ruft er zunächst das Amt an und teilt diesem die gewünschte Nummer mit. Der Beamte verbindet dann mit einer Stöpselschnur Leitung 3 mit 22, womit die nachgesuchte Verbindung hergestellt ist. Natürlich ist in Abb. 50 nur das Prinzip angedeutet, in der Ausführung ist die Sache etwas komplizierter. Damit nämlich der Beamte direkt weiß, welche Nummer Verbindung wünscht, wird ihm beim Ertönen der Weckerglocke gleichzeitig die betreffende Nummer sichtbar gemacht. Es geschieht dies mit Hilfe von „Klappenschränken". Jeder Abonnentenstromkreis ist nämlich mit einem kleinen Elektromagneten versehen, der sich hinter der Vorderfläche des Klappenschrankes befindet. Der Schrank selbst bildet den Linienwähler und zwar sind die Stöpsellöcher durch je eine Klappe verdeckt, hinter der sich zugleich die Nummer des Abonnenten befindet und die durch den Anker des vorhin erwähnten Elektromagneten festgehalten wird. Ruft nun der Abonnent das Amt an, so passiert der Ruferstrom die Spule des Magneten, der Anker wird dadurch angezogen, wodurch die Klappe frei wird und durch ihr Gewicht nach unten fällt. Sofort setzt sich der Beamte mit der sichtbar gewordenen Nummer in telephonische Verbindung, erfährt die anzurufende, die er dann einstöpselt. Will man nach auswärts, also entfernten Städten telephonieren, dann dauert die Herstellung der Verbindungen etwas länger; es muß zunächst das Fernamt angeschlossen werden, dieses schaltet die Fernleitung ein, die dann wieder an dem gewünschten Orte mit der betreffenden Nummer zu verbinden ist. Solche Fernleitungen sind aber für gewöhnlich sehr stark belastet, so daß man zuweilen etwas warten muß, ehe man verbunden wird. Dieser Verlust an Zeit wird aber reichlich aufgehoben durch die riesige Annehmlichkeit, direkt mit der Ferne sprechen zu können.

In neuerer Zeit wird übrigens der Strom, der zum Wecken, also zum Anrufen dient, nicht mehr von Elementen geliefert, sondern der Abonnent erzeugt ihn selbst durch drehen einer Handkurbel. Dadurch wird eine kleine Dynamomaschine im Innern des Mikrophongehäuses in Bewegung gesetzt, die den Strom hergibt, man spart also Elemente, die ja beständig der Wartung bedürfen. Eine weitere Änderung hat sich bei Fernleitungen als notwendig erwiesen; es ist nämlich unmöglich zu umgehen, daß solche Leitungen oftmals in die Nähe der Telegraphendrähte kommen, sie werden sogar oft mit diesen verlegt. Hat man dabei aber nur einen einzigen Draht, benutzt also die Erde als Rückleitung, so wirken

die wechselnden Ströme der Telegraphenleitung induzierend auf den Telephondraht ein, es entstehen auch Ströme in diesem. Ist die Wirkung auch nur schwach, so genügt sie doch, um einen so empfindlichen Apparat, wie das Telephon, in Schwingungen zu versetzen und die Folge davon sind unerträgliche Störungen. Diese verschwinden sofort, wenn man eine Hin- und Rückleitung, eine „Schleife" anwendet und dafür sorgt, daß beide Drähte auf demselben Mast befestigt sind. Dann werden nämlich beide Drähte gleichzeitig induziert, die entstehenden Ströme fließen zum Telephon und vernichten sich gegenseitig, ohne eine Wirkung zu äußern.

Die sprechende Bogenlampe.

Recht interessant, allerdings praktisch nicht von Bedeutung, ist die „sprechende Bogenlampe", deren Wirkungsweise wir uns noch

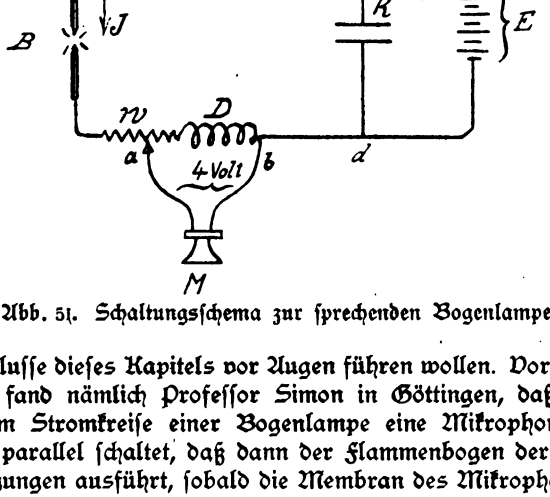


Abb. 51. Schaltungsschema zur sprechenden Bogenlampe.

zum Schlusse dieses Kapitels vor Augen führen wollen. Vor einigen Jahren fand nämlich Professor Simon in Göttingen, daß, wenn man dem Stromkreise einer Bogenlampe eine Mikrophonleitung passend parallel schaltet, daß dann der Flammenbogen der Lampe Schwingungen ausführt, sobald die Membran des Mikrophons angeregt wird. Sprach man also gegen die letztere, so ertönten von der brennenden Bogenlampe genau die gesprochenen Worte als

Echo wieder. Der Vorgang ist dabei folgender. Es sei in Abb. 51 die Bogenlampe B durch eine Stromquelle von 120 Volt gespeist. Der Strom der Lampe wird durch den Widerstand W (Seite 43) reguliert, hinter diesen schaltet man eine Spule aus dickem Drahte und legt in den Punkten a und b die Mikrophonleitung an. Die Anlegestelle in a muß so gewählt werden, das die Spannung des Mikrophonstromkreises etwa 4 Volt beträgt. Zwischen die Punkte c und d der Hauptleitung ist der Kondensator K, etwa eine Leydener Flasche (wird gewöhnlich durch zwei gleichlange Striche bezeichnet) eingeschaltet, deren Aufgabe wir sogleich erkennen werden. Wenn der Bogen ruhig brennt, so fließt der Strom I durch die Hauptleitung und passiert auch den Widerstand W und die Spule D. Wird nun das Mikrophon erregt, so gesellt sich zu dem Gleichstrom noch der Strom des Mikrophonstromkreises, der ja von wechselnder Stärke ist, wodurch der Strom I beeinflußt wird, er macht, wenn man so sagen soll, die gleichen Zuckungen und wirkt dadurch auf die Bogenlampe ein. Die Zuckungen des Bogens versetzen darauf die Luft in Schwingungen, welche der erregenden Ursache, nämlich den Tönen am Mikrophon entsprechen. Die Erscheinung würde aber nur schwach oder nur sehr unvollkommen zustande kommen, wenn nicht die Spule D und der Kondensator K vorhanden wären. Deren Wirkungsweise ist sehr interessant: die Spule D versperrt dem Wechselstrom den Weg, sie ist eine Drosselspule, deren Eigenschaften wir auf Seite 52 besprochen haben, während der Gleichstrom der Bogenlampe ungehindert hindurch kann. Wäre die Einrichtung nicht getroffen, so würde der Wechselstrom des Mikrophons wenigstens zum größten Teil direkt durch W abfließen, also die Bogenlampe kaum beeinflussen.

Anderseits bietet der Kondensator dem Wechselstrom eine Brücke, ohne daß nunmehr der Gleichstrom hier hindurch könnte. Wir haben genau den Fall, wie auf Seite 97 beschrieben, wo es sich darum handelte, durch Vermittlung einer Leydener Flasche die störenden Ladungserscheinungen eines Ozeankabels zu beseitigen. Wollte man auf das Einschalten der Flasche verzichten, so würden die ohnedies schwachen Wechselströme ihren Weg über die Stromquelle nehmen müssen und die Erscheinung würde kaum zustande kommen.

9. Kapitel.

Die elektrischen Wellen. Telegraphie ohne Draht.

Wir wenden uns jetzt zu einer Entdeckung, welche ebenso interessante, als auch sehr wichtieg Folgen hatte, nämlich zu den elektrischen Wellen, auf denen, wie wir nun ausführlich besprechen wollen, die Errungenschaften der Telegraphie ohne Draht oder der Funkentelegraphie beruhen.

Als Professor Hertz gegen Ende des vorigen Jahrhunderts seine klassischen Versuche über die Ausdehnung der elektrischen Schwingungen im Raume machte, da ahnte er nicht, welch wichtige

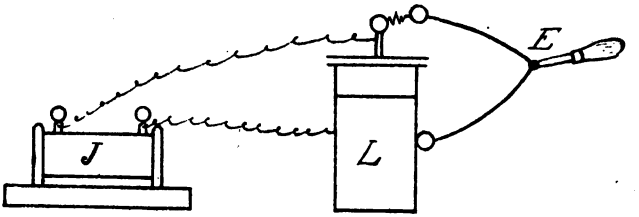


Abb. 52. Erregung oszillatorischer Schwingungen.

Folgen seine Experimente hatten, ja, er glaubte selbst nicht daran, daß seine „Wellen" jemals praktisch zu verwenden sein würden. Diese Versuche, die Grundlage der Funkentelegraphie, müssen wir vorab besprechen und nehmen dabei folgendes Experiment zu Hilfe. (Abb. 52.) Wir verbinden die Sekundärspule eines Ruhmkorffschen Induktionsapparates I mit den beiden Belegungen einer Leydener Flasche. Die entnommene Elektrizität strömt dann in die Flasche hinein, sie wird geladen, und wenn wir nun mit dem „Entlader" E, einem Drahtbügel mit zwei Kugeln, der an einem isolierten Handgriff sitzt, die äußere Belegung berühren und uns mit dem anderen Ende langsam der inneren Belegung, also der

Kugel nähern, so springt plötzlich ein dicker knackender Funke über, die Flasche entlädt sich, die beiden Elektrizitäten gleichen sich aus. Auf den ersten Blick sollte man glauben, dieser Entladungsvorgang wäre mit dem Überspringen des Funkens zu Ende; es zeigt indessen die genauere Untersuchung, daß nicht ein einmaliger Austausch stattfindet, sondern, daß der Funke zwischen den beiden Kugeln hin- und herschwingt, allerdings mit ungeheuerer Geschwindigkeit. Es ist so, als ob der Funke in seiner Heftigkeit mit der er hinüberstürzt, zunächst zu weit schieße, und nun, aus der Gleichgewichtslage entfernt, wieder zurückströmt, aber wieder zu weit und so hin- und herschwingt, bis er zur Ruhe kommt. Ein praktisches Beispiel bietet sich leicht, wenn wir die Bewegung eines Pendels beobachten. Bringe ich eine Bleikugel, die an einem Faden hängt, aus der Ruhelage, so wird sie, so bald ich loslasse, infolge der Erdkraft zurückgezogen, sie fliegt aber über die Mittellage hinaus, dann wieder in die entgegengesetzte Richtung, kurz, sie führt eine Anzahl Schwingungen aus, ehe die Bewegung gehemmt ist. Wenn wir aber hier Schwingungen vor uns sehen, die wir mit dem Auge deutlich verfolgen können, so können wir uns über die Schwingungszahl des elektrischen Entladungsfunkens gar keine Vorstellung machen. Solch schnelle Schwingungen, die ja einem Wechselstrom entsprechen, können auch nicht angenähert auf mechanische Weise erzeugt weden, aber gerade in der ungeheuer hohen Wechselzahl liegt das Eigentümliche der Erscheinung, indem dadurch eine Bedingung erfüllt wird, die nötig ist, daß sich die elektrischen Schwingungen in den Raum hinein fortpflanzen. Solche Vorgänge nennt man „oszillatorische Entladungen".

Daß wirklich die Wellen in den Raum eindringen, also auf gewisse Entfernung von der Entladungsstelle wahrnehmbar sind, das bewies Hertz dadurch, daß er einen Drahtbügel von passender Form durch den Raum bewegte. Er konnte dann bemerken, daß an den Enden des Bügels, die ein wenig voneinander entfernt waren, kleine Fünktchen auftraten: die Schwingungen im Raume teilen sich dem Drahte mit, in diesem fließen Wechselströme, die Elektrizitäten entladen sich dann in Form jener Fünkchen.

Waren diese Versuche einmal bekannt geworden, da ruhte auch die Technik nicht, sie praktisch zu verwerten. Gar zu verlockend war auch der Gedanke, telegraphieren zu können, ohne Leitungen legen zu müssen, und manch schöner Traum mag wohl damals

die findigen Köpfe umschwebt haben. Wenn aber auch heute noch manches zu verbessern ist, so haben sich doch im Laufe weniger Jahre jene Träume schon zum Teil erfüllt: die drahtlose Telegraphie hat bereits praktisch Verwendung gefunden, und namentlich an der Küste ist sie geradezu unentbehrlich geworden. Sehen wir jetzt zu, wie die Versuche sich entwickelten, wie in dem Maße der Forschung die Erkenntnis wuchs, die notwendig ist, um Mängel zu beseitigen, Verbesserungen anzubringen.

Es ist einleuchtend, daß die elektrischen Schwingungen, auf die ja alles ankommt, für die Wirkung möglichst kräftig sein müssen, und anderseits muß der Sender so eingerichtet sein, daß diese Wellen möglichst intensiv in den Raum hineingesandt werden.

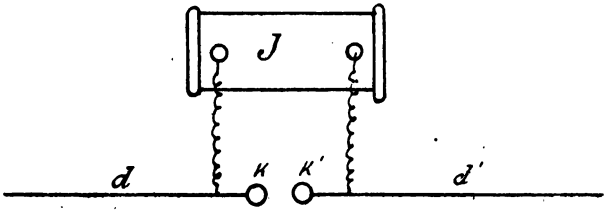


Abb. 53. Die offene Strombahn.

Wir kommen auf zwei Begriffe, die zunächst zu erläutern sind, nämlich auf die offene und geschlossene Strombahn. Die erstere die auch Hertz zu seinen Versuchen benutzte und die von dem Italiener Marconi zuerst bei seinen Versuchen mit drahtloser Telegraphie angewandt wurde, besteht im wesentlichen aus einer Anordnung, wie sie Abb. 53 zeigt. Das Induktorium I ist nicht, wie bei dem zuerst besprochenen Falle, mit einer Leydener Flasche verbunden, sondern mit zwei langgestreckten Drähten, deren Enden einerseits mit zwei Kugeln $K K_1$ versehen sind, anderseits sich in den Raum hinein erstrecken. Man kann die Drähte mit den Belegungen einer Leydener Flasche vergleichen und hat im Prinzip die gleiche Anordnung, nur daß die nach entgegengesetzten Richtungen sich erstreckenden Leiter eine offene Strombahn darstellen. Setzen wir das Induktorium in Tätigkeit, so haben wir auch hier genau wie vorher, oszillatorische Entladungen zwischen K und K_1, es entstehen elektrische Wellen, die sich aber auch in den langgezogenen Drähten fortpflanzen und hier reichlich Gelegenheit finden, in die Umgebung zu dringen. Wenn aber die Wellen in

reichlichem Maße die Drähte verlassen, so folgt notwendig, daß die Energie, die im Entladungsfunken steckt, schnell verschwindet, ebenso, wie die Schwingung einer Stimmgabel bald erstirbt, wenn der Ton sich noch auf einen Resonanzkasten fortpflanzt. Es nimmt also das Hin- und Herströmen der Elektrizität im Funken bald ab, die Schwingung ist *gedämpft*. Etwas ähnliches zeigt ein Versuch mit dem Pendel. Wenn dieses im luftleeren Raum schwingt, so zeigt die Beobachtung, daß die Bewegung bedeutend länger anhält, als in einem mit Luft erfüllten Raume. Während aber im ersten Falle gar keine Energie an die Umgebung abgegeben wird, denn es fehlt ja das Medium, pflanzt im zweiten Falle sich die Bewegung durch Vermittlung der Luft auch auf die Umgebung fort, das Pendel verdrängt beim Schwingen immerfort die Luft, die dadurch naturgemäß auch in Schwingungen gerät. Aber das Bewegen der Luft erfordert Arbeit, und diese Arbeit leistet das Pendel, es muß Widerstand überwinden und kommt verhältnismäßig schnell zur Ruhe: wir haben *gedämpfte* Schwingungen.

Nehmen wir jetzt den anderen Fall, wir schließen die Strombahn, wir führen die Drähte $d d_1$ zu den Belegungen einer Leydener Flasche. Dann verlaufen die Schwingungen zum großen Teil im innern dieser Bahn, der Entladungsfunke leistet so gut wie gar keine Arbeit nach außen und die Schwingungen halten lange an, wir haben *schwache* Dämpfung, wie das Pendel im luftleeren Raum.

Beide Erscheinungen haben ihre Vor- und Nachteile. Die offene Strombahn gibt reichlich Wellen an die Umgebung ab, aber diese Wellen sind schwach, da die Schwingungen bald abklingen, so fehlen die stetigen Impulse, die der erzeugten Welle neue Kraft nachliefern; die geschlossene Strombahn dagegen bildet kräftige Wellen aus, allein die Schwingungen pflanzen sich nicht nach außen fort und sind also für eine Fernwirkung unbrauchbar.

Es war daher wünschenswert, die guten Eigenschaften der beiden Strombahnen zu vereinigen und es ist das Verdienst von Prof. Braun in Straßburg, das Problem gelöst zu haben, um dadurch erheblich zur Einführung der Funkentelegraphie beizutragen. Führen wir uns das anfängliche System von Marconi und die Braunschen Verbesserungen vor Augen. Das erstere ist in Abb. 54 wiedergegeben. Wie man sieht, handelt es sich hier um eine offene Strombahn, es ist der Fall, wie wir ihn auf Seite 111 besprachen. In Abb. 55 dagegen ist die Funkenstrecke in den Kreis zweier Leydener

Flaschen C_1 und C_2 eingeschaltet, und erst mit dem Flaschenkreise verbunden ist der Sendedraht. Die Schwingungen des Flaschenkreises sind, wie wir sahen, schwach gedämpft, er enthält außerdem wegen der großen Kapazität der Flaschen bedeutende Energiemengen, bildet ein Reservoir. Aus diesem kann der Sender, also die offene Strombahn, immerfort Energie entnehmen und in die Ferne senden. Endlich sehen wir noch in Abb. 56 eine Abänderung, in der Braun die „induktive" Erregung anwendet. Das

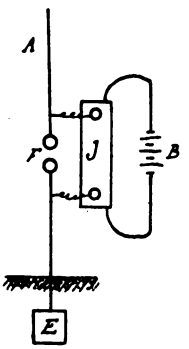


Abb. 54. Offene Strombahn.

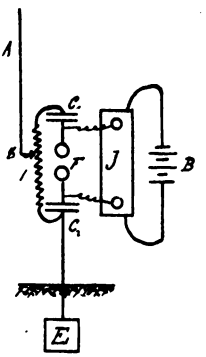


Abb 55. System Braun, Geschlossene Strombahn.

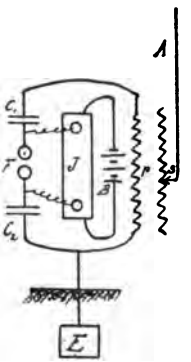


Abb. 56. System Braun, Induktive Erregung.

Prinzip dieser Einrichtung ist uns schon mehrfach begegnet und besteht einfach in einer Transformation der zunächst erzeugten elektrischen Energie. Unter anderem gewährt dieses System den Vorteil, die Sekundärspule s des Senders näher an die primäre heranzubringen oder zu entfernen, weshalb man auch von der „losen" Kupplung spricht. Dadurch ist erreicht, daß Induktionsströme in s möglichst wenig auf die Primärspule zurückwirken, indem man beide Spulen in passende Entfernung bringt, die durch den Versuch ermittelt wird.

Was den Sendedraht S anbelangt, so bringt man ihn gewöhnlich an einem langen Maste an, der sich an einer erhöhten Stelle befindet. Um übrigens die Gelegenheit, elektrische Wellen auszustrahlen oder aufzunehmen zu verbessern, bringt man oft mehrere solcher Drähte, die man Fühler oder Antennen nennt, an, ja, man bildet sogar ganze Netze von Drähten aus, so daß eine solche

Station nichts weniger als den Eindruck einer „drahtlosen Telegraphie" erweckt.

Nachdem wir nun kennen gelernt haben, wie die elektrischen Wellen zustande kommen und in den Raum hineingesandt werden, wollen wir jetzt besprechen, wie die ankommenden Wellen aufgefangen werden, um Arbeit zu leisten. Das, was hier angestrebt wird, ist ja, einen Telegraphenapparat in Bewegung zu setzen, also Zeichen auf einen Papierstreifen niederzuschreiben, genau so, als handele es sich um die gewöhnliche Telegraphie. Bei dieser aber leistet der galvanische Strom die Arbeit, und wenn auch die beiden Elektrizitätsarten, die sich in Strom und Schwingungen äußern, ihrem Wesen nach dasselbe sind, so könnte man doch niemals mit elektrischen Wellen einen Magneten erregen, wie dies zum Betriebe der Apparate nötig ist; dazu eignet sich nur der elektrische Strom. Außerdem wird man wohl schwerlich jenen delikaten Wellen eine verhältnismäßig so schwere Arbeit übertragen können, so daß eine Umwandlung der einen Energieart in eine andere nötig wird.

Daß die elektrischen Wellen sich in der Ferne äußern, sahen wir schon beim Hertzschen Drahtbügel, dem sogen. Detektor, durch das Übertreten kleiner Fünkchen. Damit aber solche Fünkchen übertreten, sind verhältnismäßig große Energiemengen nötig, auf größere Entfernungen versagt das Mittel ganz, es ist nicht empfindlich genug. Eine sehr empfindliches Reagenz aber liefert der Kohärer, auch Fritter genannt, von Branly. Dieser beruht auf etwas ähnlichem, wie wir es schon früher beim Mikrophon fanden, nämlich auf der Wirkung der unvollkommenen Kontakte. Wenn wir zwei Metallstifte lose aufeinanderlegen, beide mit den Drähten einer Stromquelle verbinden, so findet der Strom an der Auflagestelle einen gewissen Widerstand; dieser wird verdoppelt, wenn zwei solcher Auflagestellen vorhanden sind, man kann ihn verdreifachen usf., so daß man durch Anhäufen derartiger Stellen schließlich dazu kommt, daß überhaupt kein Strom mehr durch das System hindurch geht. Ein solches kann man sich dadurch bilden, wie es auch Branly tat, daß man Metallsplitter in eine Glasröhre bringt, die auf beiden Seiten durch Drähte mit Metallplatten verschlossen ist, so daß diese die Spähne einschließen. (Abb. 57.) Eine derartige Röhre leitet den Strom von etwa zwei Elementen nicht; treffen aber elektrische Wellen auf, so wird im selben Moment der Strom geschlossen, die Röhre leitet und be-

hält diese Eigenschaft selbst dann noch, wenn die erregenden Wellen bereits verschwunden sind. Erst nachdem der Kohärer angeklopft wurde, hört die Leitfähigkeit auf. Wir haben also hier das Mittel, nicht allein die elektrischen Wellen nachzuweisen, sondern auch durch ihre Vermittlung einen kräftigen galvanischen Strom einzuschalten, der imstande ist, einen Elektromagneten zu erregen. Die Gesamtanordnung einer Verbindung zweier Orte durch drahtlose Telegraphie zeigt Abb. 58. B ist die Sendestation und besitzt die Einrichtung, wie wir sie schon besprochen haben. Das Induktorium I wird durch eine Batterie in Tätigkeit gesetzt, welche durch den Telegraphentaster T geschlossen werden kann. Geschieht dies, so verbreiten sich die Wellen durch den Raum und treffen in der Empfangsstation auf den Kohärer C, den sie anregen. Sofort wird

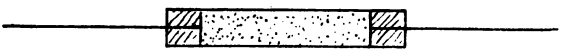


Abb. 57. Kohärer.

dadurch die Leitung des Relais R geschlossen, wodurch dann weiter die Lokalbatterie mit dem Morseschreiber und einer Klingel verbunden wird. Der Klöppel der letzteren schlägt gegen den Rahmen des Kohärers und hat den Zweck, dessen Strombahn selbsttätig zu unterbrechen, sobald die Wellen nicht mehr auftreffen. Man sieht, daß auf diese Weise ebenso telegraphiert werden kann, durch entsprechende Bewegung des Tasters, wie bei dem Telegraphensystem mit Drahtleitungen.

Was die Schnelligkeit in der Ausbreitung der elektrischen Wellen anbelangt, so kommt sie der des Lichtes gleich, nämlich 300 000 km in der Sekunde. Überhaupt hat schon Hertz nachgewiesen, daß beide Wellenarten, die elektrischen und die des Lichtes, dieselben Eigenschaften besitzen, und daß der wesentliche Unterschied beider nur in der Verschiedenheit der Wellenlänge besteht. Dieser Unterschied ist allerdings enorm; während die Wellenlänge des Lichtes nur ein äußerst geringer Bruchteil eines Millimeters beträgt, können elektrische Wellen ebensogut einige Meter, wie Hunderte derselben lang sein. Man kann deshalb Wellen von sehr verschiedener Länge erzeugen; damit aber die Wirkung möglichst kräftig sei, ist es nötig, daß alle Teile des Senders in bezug auf die Dimensionen der Leiter und Apparate, sowie auch auf deren Anordnung für die betreffende Wellenlänge

abgestimmt ist, gerade so wie ein Ton durch Resonanz am wirkungsvollsten verstärkt wird, wenn der resonierende Körper in rhytmischem Verhältnis zum erregenden Ton steht.

Die Eigenschaft der elektrischen Wellen, sich in beliebiger Länge erzeugen zu lassen, bietet das Mittel, die Telegraphie „abzustimmen", d. h. nur solche Apparate in Tätigkeit zu setzen, die auf die betreffende Wellenlänge ansprechen. Hier ergibt sich aber auch die Notwendigkeit, daß die erzeugten Wellen möglichst wenig gedämpft sind, daß sie lange anhalten. Denn, wie ein leichtes Pendel sehr schnell durch den Luftwiderstand zur Ruhe

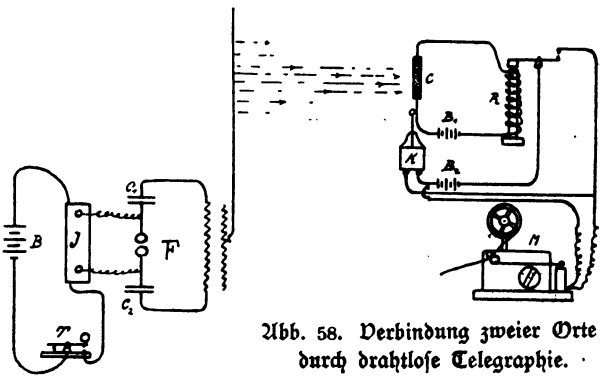


Abb. 58. Verbindung zweier Orte durch drahtlose Telegraphie.

kommt, so folgt es auch ohne weiteres den Luftströmungen so, wie sie auftreffen. Ein Pendel von schwerer Masse aber bietet den Störungen Trotz, es bleibt vermöge der ihm innewohnenden Energie in der einmal angenommenen Schwingungsbewegung und hat auch nach langer Zeit noch Kraft, seine Bewegung andern Körpern zu übermitteln. Wie kann man aber die Länge einer elektrischen Welle einregulieren? Es lehren Theorie und Versuch, daß die Länge der Welle abhängt von zwei Größen, nämlich von der Kapazität (Seite 96) und der Selbstinduktion (Seite 30) des Erregerkreises. Die erstere dieser Größe ist gegeben hauptsächlich durch die Zahl der Leydener Flaschen, die zweite dagegen durch den gesamten Stromkreis. Die Kapazität wird durch Einschalten oder Entfernen von Leydener Flaschen einreguliert; die Selbstinduktion dadurch, daß man entweder in den Flaschenkreis eine Spule einschaltet und durch einen Schiebekontakt mehr oder weniger Windungen wirken läßt (Abb. 55 s) oder aber, bei der induktiven Schaltung, indem

man dasselbe mit der hier schon vorhandenen Induktionsspule vornimmt (Abb. 56 s). Man stellt so Wellen her, die etwa 2—300 m lang sind, welche sich am besten zum Übertragen eignen.

Die elektrischen Wellen finden natürlich in ihrer Ausbreitung Widerstand beim Auftreffen auf feste Wände, wie Häuser, Berge usw., ferner werden sie von Metallflächen zurückgeworfen. Deshalb kann man sie zum Telegraphieren auf größere Entfernungen nur da anwenden, wo weite und freie Strecken zur Verfügung stehen, oder sofern dies nicht zu erreichen ist, wenn sich Sende- und Empfangsstation in geeigneter Entfernung vom Erdboden befinden. Den wichtigsten Dienst leistet heute die Funkentelegraphie unzweifelhaft im Schiffverkehr, an der Küste, wo ja auch die Bedingungen sehr günstig liegen. Dort kann man auf eine Entfernung von etwa 300 km mit Sicherheit Depeschen austauschen.

Wenn auch diese neue Errungenschaft nicht imstande ist, die gebräuchliche Telegraphie zu verdrängen, so bietet sie doch eine wertvolle Vervollständigung, indem sie an solchen Orten anwendbar ist, wo es unmöglich wäre, eine Verbindung mit Drähten herzustellen. Und wenn man den Berichten, die hier und dort auftauchen, trauen darf, so ist es wohl wahrscheinlich, daß es gelingen wird, über den Ozean hinüber gerade so ohne Draht Depeschen zu senden, wie dies mit Hilfe der Kabel schon seit langem geschieht. —

Ich bin am Schluße angelangt. Möge der kurze Einblick in das Wesen der Elektrizität und ihre Anwendungen, den ich zu geben mich bemühte, dazu beitragen, auch dem Fernerstehenden Aufklärung zu geben, sein Interesse zu wecken. Freilich gibt es noch manches Wunderbare auf dem Gebiete der Elektrizitätslehre, und nach all dem zu urteilen, was in den letzten Jahren entdeckt worden, sind wir berechtigt anzunehmen, daß für die Technik noch manches dabei abfällt. Und es ist ein Glück, daß dem so ist; liegt doch ein gewisser Trost in dem Gedanken, daß, nachdem die Erde all ihre von uns in immer mehr und mehr wachsendem Maße benutzten Hilfsmittel hergegeben hat, die sie nicht zu erneuern vermag, daß dann die Elektrizität den Menschen mit dem versorgt, was ihm außer Nahrung und Kleidung unentbehrlich ist, mit Wärme und Licht. —

Literatureinführung.

Für ein eingehenderes Studium der verschiedenen, im vorliegenden Bändchen nur kurz behandelten Gegenstände, sei auf nachstehende Werke hingewiesen.

„Die Elektrizität und ihre Anwendungen" von Dr. L. Graetz, Professor an der Universität München. In diesem vorzüglichen Buche findet der Leser eine eingehende Belehrung über alles, was heutzutage in der Elektrotechnik Bemerkenswertes existiert. Das Werk ist für den Nichtfachmann geschrieben, es eignet sich daher zum Studium für jedermann, ohne besondere Vorkenntnisse aus dem Gebiete der Physik zu fordern und ebenso wenig vorauszusetzen, daß der Leser mit den mathematischen Operationsweisen vertraut sei. Das, was an mathematischer Überlegung erforderlich ist, ergibt sich aus der vortrefflichen Darstellung ganz von selbst, und ohne Schwierigkeit führt uns das Buch in die äußerst mannigfaltigen Naturerscheinungen ein und lehrt uns Vorgänge begreifen, die auf den ersten Blick recht verwickelt erscheinen. Freilich hat sich dabei ein ziemlich umfangreiches Werk ergeben, fast zu umfangreich für denjenigen, der keine so eingehende Belehrung wünscht. In seinem „Abriß der Elektrizität" sucht daher der Verfasser auch denjenigen zufrieden zu stellen, der sich nicht in ein umfassendes Studium vertiefen will. —

Das Buch: „Die Elektrizität, ihre Erzeugung und Anwendung in Industrie und Gewerbe" von Arthur Wilke, gewährt, wie schon der Titel sagt, einen ausgedehnten Einblick in die Elektrotechnik. Einzelne Gebiete sind dort eingehend beschrieben. So wird der Leser mit der Herstellung von Kabel und sonstigen Leitungen mit ihren verschiedenen Umhüllungen bekannt gemacht und lernt dabei eine Anzahl höchst interessanter Maschinen kennen; er sieht weiter, wie die Glühlampe entsteht, wie der Akkumulator, jene wichtige Stromquelle, aus der rohen Bleiplatte Form und Gestalt annimmt usf., wie denn überhaupt der Verfasser bestrebt ist, die Herstellung der verschiedenen in der Elektrotechnik gebräuchlichen Artikel vor Augen zu führen. Recht belehrend ist die Illustration der gewaltigen Elektrizitätswerke großer Städte und Anlagen, wobei mancherlei

interessante Einzelheiten zur Sprache kommen und man den Weg des Stromes von der Erzeugungs- bis zur Verbrauchsstelle verfolgen kann, wobei die Abbildungen vieler in der Installationstechnik üblichen Apparate dem Leser manch nützliche Belehrung verschafft. Eingehend bespricht der Verfasser ferner die Verwendung des elektrischen Stromes zur Arbeitsleistung und unternimmt mit dem Leser, durch Vorführung einer großen Anzahl von Abbildungen, direkt „nach dem Leben" aufgenommen, geradezu eine Exkursion zu den verschiedenen Arbeitsstätten und Betrieben. Auch das Wirken des elektrischen Stromes im „kleinen", die Schwachstromtechnik, findet gebührend Berücksichtigung, so namentlich das Telegraphen- und Telephonwesen. —

Die wissenschaftliche Grundlage der Elektrizitätslehre ist sehr anschaulich dargestellt in dem Physikbuche von Prof. W. Weiler. Allerdings sind zum vollen Verständnis der behandelten Gegenstände einige mathematische Kenntnisse erforderlich. Durch die Aufnahme farbiger Abbildungen, die in reichem Maße vorhanden sind, werden die einzelnen Naturvorgänge außerordentlich deutlich vorgeführt. Dieses Werk eignet sich indessen hauptsächlich für solche, die sich mit einem näheren Studium der Physik überhaupt befassen wollen, denn es enthält außer dem ersten Teil, Magnetismus und Elektrizität, auch die übrigen Gebiete der Physik und behandelt demgemäß mehr wissenschaftliche, als technische Fragen. —

Denjenigen, welche über mathematische Kenntnisse verfügen, sei das Buch von H. Starke: „Experimentelle Elektrizitätslehre" empfohlen. Der Autor ist durch Benutzung der mathematischen Hilfsmittel in die Lage versetzt, einen weiteren Einblick in die Gesetze der Elektrizität zu gewähren, als es ohne dies möglich wäre, und so den Leser mit den Anschauungen und Ergebnissen der Forschung bekannt zu machen, wie sie dem heutigen Stande der Wissenschaft entsprechen. Das Buch ist jedoch, wie ja aus dem Titel erhellt, nicht rein theoretisch, es werden vielmehr die besprochenen Erscheinungen durch Hinzuziehen von Experimenten erläutert und es eignet sich vermöge seiner klaren Darstellungsweise ganz besonders gut zum Selbstudium für den Nichtfachmann, sofern ihm die nötigen Vorkenntnisse zu Gebote stehen, und ebenso bietet es dem Techniker willkommene Gelegenheit, bereits Gelerntes wieder aufzufrischen und fehlendes zu ergänzen.

Sachregister.

Ätherschwingungen 54.
Absorbierte Strahlen 55.
Akkumulatoren 14.
Aluminiumdarstellung 20.
Amper (Ampère) Einheitsmaß 11.
Ampermeter 11, 13.
Amperstunden (Kapazität) 17.
Anker 38, 47.
Anode 11.
Antenne 113.
Antikathode 34, 35.
Außenleiter 76.

Bäder zum Verkupfern usw. 19 ff.
Ballonelement 5.
Batterie 17, 89.
Bellsches Telephon 99.
Belegungen einer Leydener Flasche 96.
Bogenlampe 65.
Bogenlampe, sprechende 107.
Braun, Anordnung von 112.
Brechung des Lichtes 56.

Compounddynamo 45.

Daniellsches Element 4.
Detektor von Hertz 114.
Differentiallampe 69.
Drahtlose Telegraphie 109 ff.
Drehstrom 52, 79.
Drehstrommotor 53.
Dreileitersystem 74.
Drosselspule 52, 108.
Dynamomaschine 37 ff.

Effektbogenlicht 71.
Energie 1.
Eisenbahn, elektrische 50.
Elektrizitätszähler 84.
Elektroden 11, 32.
Elektrodynamisches Prinzip 40.
Elektrolyse 11.
Elektromagnet 24, 25.
Elektromotor 46.
Elektromotorische Kraft 3.
Element, galvanisches 3 ff.
Erdleitung 90.
Extrastrom 30.

Faradaysches Gesetz 11.
Farben des Lichtes 56.
Fassung von Glühlampen 59, 64.
Faurescher Akkumulator 17.
Feldstärke 24.
Foucaultsche Ströme 51.
Fritter 114.

Galvanisches Element 4, 5.
Galvanoplastik 19.
Galvanostegie 20.
Geißlersche Röhren 32.
Gleichstrom 38.
Glühlampe 59 ff.
Grammescher Ring 39, 40.

Hauptstromdynamo 41, 42.
Hefner-Kerze 64.
Hertzsche Versuche 109.
Hughes 94, 103.
Hysteresis 78.

Impedanz 52.
Induktion 26.
Induktionsapparat 29.
Induktive Schaltung 113.
Influenzwirkung 98.

Joulesches Gesetz 8.

Kabeltelegraphie 95 ff.
Kapazität 17, 96.
Kathode 11.
Kathodenstrahlen 33.
Klappenschrank 106.
Klemmenspannung 42.
Körnermikrophon 104.
Kohärer 115.

Kollektor, siehe Kommutator.
Kommutator 38.
Kondensator 96.
Kraftlinien 25.
Kurzschluß 83.
Kurzschlußanker 53.

Laden von Akkumulatoren 16.
Laden von Leydener Flaschen 2, 97.
Lampen, Glüh-, Bogen- 59 ff.
Lenzsches Gesetz 26.
Leydener Flasche 2, 96.
Liliputbogenlampe 70.
Linienwähler 105.
Lumineszenz 33.

Magnetelektrische Maschine 40.
Magnetfeld 25.
Meidingerelement 5, 6.
Mehrpolige Maschine 40.
Metallgewinnung 20.
Mikrophon 102.
Morseapparat 92, 93.
Motoren 46 ff.

Nebenschlußschaltung 12.
Nebenschlußdynamo 41, 42.
Nebenschlußregulator 87.
Nernstlampe 60.
Nutenanker 39.
Nutzeffekt, siehe Wirkungsgrad.

Oberirdische Stromzuführung 50.
Ohmsches Gesetz 8.
Osmiumlampe 62.
Osramlampe 62.
Oszillatorische Entladung 110.

Peltiersche Wärme 9.
Phosphoreszenz 33.
Plantéscher Akkumulator 15.
Polarisation 14.
Pol am Element 3, 4.
Polschuh 37.

Relais 91, 92.
Röntgenstrahlen 33.
Rückstrom 98.
Ruhmkorff 29.

Sammler 14.
Schalttafel 81.
Scheidungskraft 2.
Schleifringe 38.
Schwingungen, elektrische 110.
Selbstinduktion 30.
Sicherungen 83.
Spannung 7.
Spannungsverlust 73.
Spektrum 58.
Strom, elektrischer 2.
Stromstärke 6 ff.

Tantallampe 63, 64.
Taster 90.
Telegraphie ohne Draht 109 ff.
Telephon 99.
Temperaturstrahlung 58.
Thermosäule 9.
Transformator 77.
Trockenelement 6.
Trommelanker 40.
Typendruckapparat 94.

Übergangswiderstand 103.
Ultraviolette, ultrarote Strahlen 58.

Vermittelungsämter 105.
Volt, Einheitsmaß 13.

Watt 64.
Wattstundenzähler 85.
Wechselstrom 27.
Wechselstrommaschine 37.
Wellenlänge 57, 115.
Widerstandseinheit 13.
Widerstände (Rheostaten) 43.

Zellenschalter 86.

Buchdruckerei Julius Klinkhardt, Leipzig.

Eiszeit und Urgeschichte des Menschen. Von Professor Dr. Pohlig. 8°. VIII u. 141 Seiten mit zahlreichen Abbildungen. Geh. M. 1.—. In Originalleinenband M. 1.25.

Verfasser entrollt auf Grund der neuesten Ergebnisse der Wissenschaft ein Bild von den landschaftlichen Wirkungen des Eises, der Bildung der Flußtäler und Höhlen, dem Leben des Urmenschen, seiner tierischen und pflanzlichen Begleiter, alles in lebendiger Schilderung durch zahlreiche Abbildungen erläutert. Stets ausgehend von dem gegenwärtigen geologischen Bilde unserer Heimat, lehrt er den Leser dieses zu beobachten und selbständig weiter zu forschen.

Lebensfragen. Von Professor Dr. F. B. Ahrens. 8°. VIII. u. 160 Seiten mit Abbildungen. Geh. M. 1.—. In Originalleinenband M. 1.25.

Das Buch führt uns in das Reich des Lebens. Es zeigt den Aufbau unserer wichtigsten Nährstoffe im Pflanzenleibe und Tierkörper. Wir lernen, wie die verschiedenen Bestandteile unseres Körpers verbraucht werden, und in welchen Mengen die Nahrungsstoffe zum Ersatz und Unterhalt der Lebensfunktionen bestimmt sind. Dabei werden unsere wichtigsten natürlichen und künstlichen Nahrungs- und Genußmittel auf ihren Nährwert geprüft und in ihrer Bedeutung für die Volkswirtschaft betrachtet.

Die Bakterien und ihre Bedeutung im praktischen Leben. Von Privatdozent Dr. H. Miehe. 8°. IV u. 144 Seiten mit zahlreichen Abbildungen. Geh. M. 1.—. In Originalleinenband M. 1.25.

Verfasser gibt in stetem Zusammenhang mit den allgemeinen naturwissenschaftlichen Problemen ein Bild von dem Leben und Treiben der Bakterien, ihrem Bau, ihrer Lebensweise und Verbreitung, würdigt ihre Bedeutung als Helfer in der Landwirtschaft und Technik, sowie als Erreger von Infektionskrankheiten. Daran anschließend erörtert er die Immunitätsprobleme und Bekämpfungsmaßregeln, wie Desinfektion, Schutzimpfung, Serumtherapie usw.

Das Schmarotzertum im Tierreich und seine Bedeutung für die Artbildung. Von Professor Dr. L. von Graff. IV u. 132 Seiten mit 24 Textfiguren. Geh. M. 1.—. In Originalleinenband M. 1.25.

In vorliegendem Büchlein wird die wichtige Rolle eingehend dargestellt, welche dem Parasitismus für die Entstehung der Arten zukommt. Sorgfältig ausgewählte und reich illustrierte Beispiele geben die Grundlage für die allgemeinen Erörterungen über den Einfluß des Schmarotzertums auf den Parasiten in Form und Bau, in Fortpflanzungsverhältnissen, Wanderungen und Entwicklung, über die Entstehung der heutigen Formen des Parasitismus, sowie die ihm innewohnende Zweckmäßigkeit. Nach Erörterung der Stellung des Schmarotzertums in der Biologie folgt eine tabellarische Zusammenstellung der bis heute bekannten Parasiten des Menschen nebst deren Erläuterung.